

Optische Erkennung von Vereisung an WKA-Rotorblättern

Diplomarbeit
von

Christian Richard
Systemtechnik – Power & Control

Dozent: Prof. Dr.-Ing. Egon Ortjohann
Experte: Prof. Dr.-Ing. Joseph Moerschell

Fachhochschule, Soest, Deutschland
Februar 2007

Inhaltverzeichnis

1	EINLEITUNG.....	1
2	ZIEL	4
3	IM VORFELD DURCHGEFÜHRTE UNTERSUCHUNGEN	5
3.1	MESSPRINZIPIEN.....	5
3.2	BREWSTERWINKEL	5
3.3	INFRAROTMESSUNG.....	6
3.4	REFLEXIONSGRAD-MESSUNG	6
3.5	FAZIT.....	7
3.6	STRUKTURIERUNG DER WEITEREN ARBEITEN.....	8
4	BESTIMMUNG IDEALER MESSPUNKTE.....	9
4.1	3D-MODELLIERUNG EINES LABORBLATTES	9
4.2	BESTIMMUNG DES MESSBEREICHS	10
4.3	BESTIMMUNG DER KAMERAPOSITION	11
4.4	BERECHNUNG DER KAMERA- UND DER BILDUNKTUNORDINATEN	14
4.4.1	<i>Koordinaten der Kamera.....</i>	<i>14</i>
4.4.2	<i>Koordinaten des Bildpunktes:.....</i>	<i>14</i>
4.4.3	<i>Orientierung der Kamera</i>	<i>15</i>
4.5	SIMULATIONSSSEQUENZEN	16
4.6	IDEALER MESSPUNKT	17
5	SIMULATION DER SCHEIMPFLUG-REGEL.....	20
5.1	PROBLEMATIK	20
5.2	RECHNUNG DER SCHARFENTIEFE	21
5.3	PRINZIP.....	22
5.4	LÖSUNG.....	23
6	MESSPRINZIP.....	27
6.1	PHYSIKALISCHES PRINZIP.....	27
6.1.1	<i>Definition des Reflexionsgrades</i>	<i>27</i>
6.1.2	<i>Reflexionsgrad des Wassers</i>	<i>28</i>
6.1.3	<i>Messprinzip.....</i>	<i>28</i>
6.2	SPEKTROSKOPISCHE CHARAKTERISTIK DES WASSER UND DES EISES	29
6.3	OPTISCHE FILTER	31
7	BESTIMMUNG EINER BELEUCHTUNGSQUELLE.....	33
7.1	PRINZIP.....	33
7.2	MESSUNG	34
8	AUSWAHL EINER KAMERA.....	35
8.1	BERECHNUNG DER MAXIMALEN FREQUENZ DES ROTORBLATTES	35
8.2	BERECHNUNG DER MAXIMALEN BILDFOLGEFREQUENZ.....	36
8.2.1	<i>Variablendeklaration.....</i>	<i>36</i>

8.2.2	<i>Frame time-Berechnung</i>	37
8.2.3	<i>Überprüfung</i>	37
9	LABORVERSUCH UND NACHPRÜFUNG DER SIMULATIONEN	38
9.1	SÄTTIGUNG DER BILDSSENSOREN	38
9.2	LICHTREFLEXION DES EISES	39
9.3	LICHTREFLEXION DES WASSERS.....	41
9.4	ERKENNUNG EINER AUFHELLUNG AN DER BLATTKANTE	43
9.5	FAZIT.....	44
10	BILDVERARBEITUNG UND ANZEIGE DER VEREISTEN FLÄCHE	46
11	ZUSAMMENFASSUNG	47
12	ABSCHLUSS	48
13	DANKESCHÖN	49
14	LITERATURVERZEICHNIS	49
15	ABBILDUNGSVERZEICHNIS	50
16	TABELLENVERZEICHNIS	52
17	ANLAGENVERZEICHNIS	52

1 Einleitung

Aufgrund der immer knapper werdenden fossilen Energieträger und der globalen Erwärmung, gewinnen die regenerativen Energiequellen wie z.B. Windkraftanlagen immer mehr an Bedeutung. In Berggebieten (z.B. Schweiz) und/oder in Ländern mit kaltem Klima verursachen niedrige Temperaturen und Niederschläge ein Vereisungsrisiko auf den Rotorblättern. Die messtechnische Erfassung der Vereisung sowie ihre Beseitigung sind ein wichtiger Bestandteil der Betriebsführung, da die Vereisung einen erheblichen Einfluss auf den Gesamtwirkungsgrad, die mechanische Abnutzung und die Sicherheit hat. Aufgrund der veränderten aerodynamischen Rotorcharakteristik verringert sich, infolge der vereisten Rotorblätter, der Wirkungsgrad der Anlage. Außerdem stellen solche Anlagen, die sich in der Nähe einer Strasse oder eines Fußwegs befinden, ein Sicherheitsrisiko durch umher fliegende Eisstücke dar.

Zur Verhinderung der Vereisung existieren bereits verschiedene Mess- und Heizungssysteme, die zum Teil sehr teuer und nicht wirklich effizient sind. Ein weiterer Nachteil der bestehenden Systeme ist, dass die Messungen punktuell vorgenommen werden und demzufolge einige Bereiche der Anlage bezüglich der Vereisung nicht erfasst werden. In dieser Arbeit wird ein kontaktloses, bildgebendes System zur Erfassung einer Vereisung an Rotorblättern einer WKA entwickelt. Ein wesentlicher Vorteil des hier vorgestellten Verfahrens ist, dass ein Bild von dem ganzen Rotorblatt mit einer Anzeige der vereisten Fläche erstellt wird.



Bild 1.1: WKA [TWIND]

Die Messung des Vereisungsbeginns bzw. des Erreichens einer kritischen Vereisungsdicken ist allgemein für Betreiber von Anlagen (z.B. Windkraftanlagen, Hochspannungsleitungen) in Regionen mit tiefen Außentemperaturen oder Transportmitteln (Fahrzeuge, Züge, Flugzeuge) von großer Bedeutung.

In Tabelle 1.1 ist der Ertragsverlust einer WKA, welcher durch Vereisung verursacht wird, dargestellt.

Tabelle 1.1: Jahresenergieverlust einer WKA in Abhängigkeit von Frosttagen

Frosttage [Tag/Jahr]	Jahresenergieverlust einer WKA
< 1	Unerheblich
1 - 10	Klein
10 - 30	5 - 15 %
30 - 60	15 - 25 %
> 60	>25 %

Ungefähr 500 MW der installierten WKA-Leistung befindet sich in kalten Klimazonen, wie in Skandinavien, Nordamerika, Europa und Asien. In Bild 1.2 ist die Anzahl der Frosttage für Europa dargestellt.

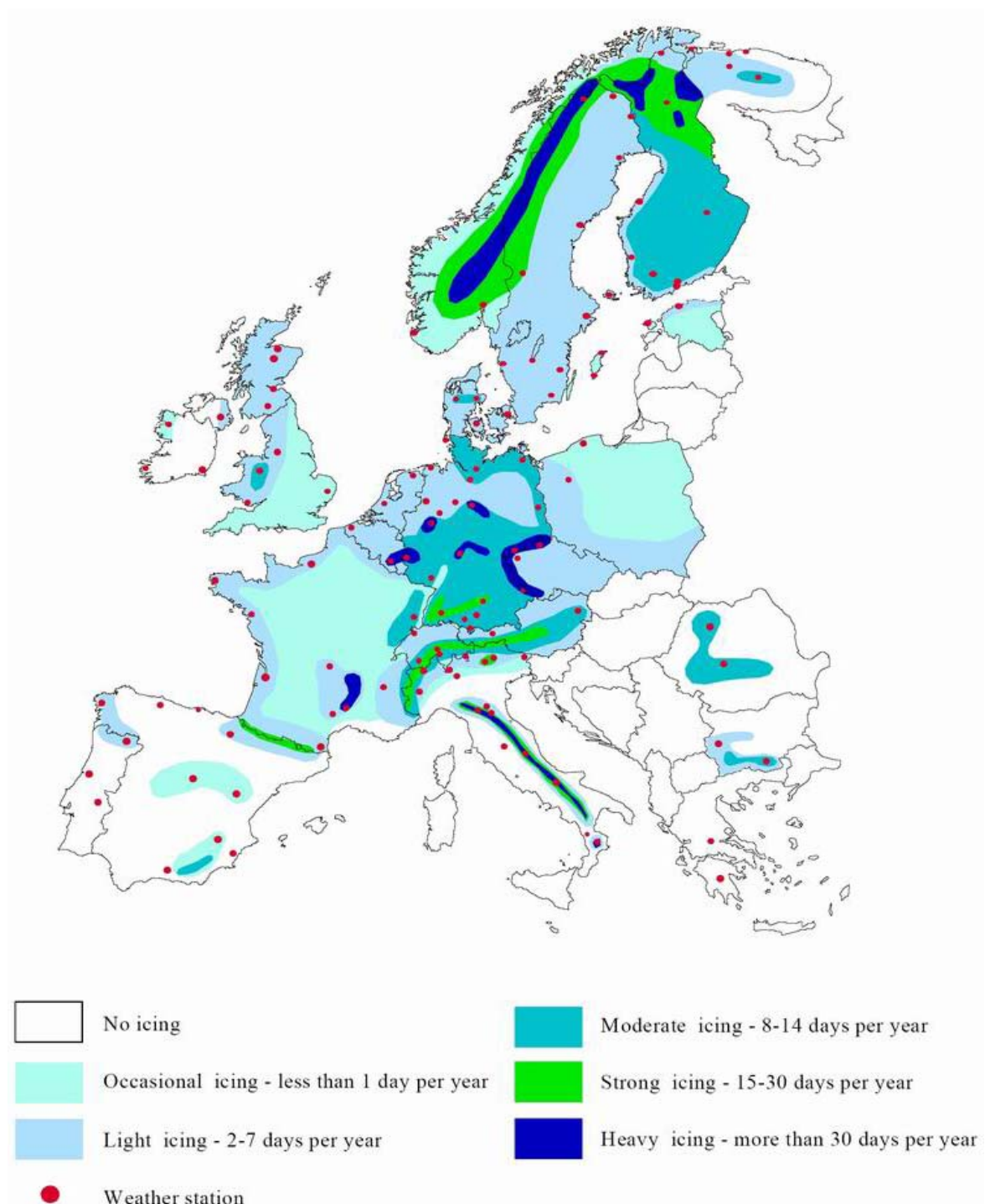


Bild 1.2: Frosttage in Europa

Entsprechend Bild 1.2 ist eine Vielzahl der WKA von dem Problem der Vereisung betroffen. Somit stellt die Vereisung ein zentrales Problem in der Anlagenbetriebsführung und Überwachung dar.

2 Ziel

Im Rahmen dieser Arbeit soll ein Messaufbau entwickelt werden, mit dem das Einsetzen der Vereisung bzw. das Erreichen einer kritischen Schichtdicken auf den Rotorblättern einer Windkraftanlage festgestellt werden kann. Es wird ein kontaktloses, bildgebendes Verfahren eingesetzt.

Im Einzelnen sollen folgende Punkte bearbeitet werden:

- Die geometrische Konstruktion eines Rotorblatts ist in 3D-Darstellung zu modellieren.
- Es werden Simulationssequenzen für die Variation der wichtigsten Parameter innerhalb der geometrischen Beziehung von Kamera und Blatt entwickelt. Diese sind der Pitch-Winkel und Blatt Drehwinkel, Beleuchtungsrichtung (Azimut und Elevation bezogen auf die Blattposition), Betrachtungsradius, Position und Neigungswinkel der Kamera zum Rotor. Anhand dieser Sequenzen soll eine möglichst optimale Anordnung der Elemente ermittelt werden.
- Weiterhin soll der Eisansatz einer geeigneten Beleuchtungsrichtung untersucht werden, um eine Beleuchtungsposition und eine Intensitätsfestlegung zu ermitteln.
- Mit Hilfe der Simulation soll ein optischer Pfad ermittelt werden, welcher die Scharfeinstellung einer ausgedehnten mechanischen Struktur erlaubt (axialer Versatz Objektiv – Detektor).
- Die Simulations- und Analyseergebnisse zur Beleuchtung und Bildaufnahme werden in einem Laborversuch überprüft.
- Abschließend ist eine Implementierung der Verarbeitungsalgorithmen der aufgenommenen Bilder in Matlab vorzunehmen, um eine automatisierte Anzeige der vereisten Fläche vornehmen zu können.

Neben der Beobachtung einer Aufhellung an der Blattvorderkante, kann die Messung auch auf einer Variation unterschiedlicher Lichtreflexionen an trockenen, nassen und vereisten Blattoberflächen im Infrarotbereich basieren.

3 Im Vorfeld durchgeführte Untersuchungen

Nachfolgend werden nochmals die bereits durchgeführten Arbeiten aus [RICH] zusammenfassend beschrieben. Hierzu werden die drei Messprinzipien kurz vorgestellt und eingeordnet.

3.1 Messprinzipien

In der Arbeit [RICH] sind drei verschiedene Messprinzipien analysiert worden, um das Eis zu detektieren. Das erste Messprinzip basiert auf dem Reflexionsgrad. Im zweiten Verfahren wird der Polarisationsgrad zur Eisidentifizierung ausgenutzt. Im dritten Verfahren wird eine Eiserkennung mittels Infrarotmessung analysiert. Mit den beiden letzt genannten Messprinzipien konnten befriedigende Messergebnisse erzielt werden.

3.2 Brewsterwinkel

Das Licht, welches auf eine Grenzfläche zwischen zwei Medien mit den Brechzahlen n_a bzw. n_b trifft, wird gemäß den Fresnelschen Formeln reflektiert bzw. übertragen. Für das Licht mit einer Polarisation parallel zur Einfallsebene, welches mit dem Brewsterwinkel einfällt, entfällt die Reflexion. Das Licht dringt vollständig durch die Oberfläche. Das Licht mit senkrechter Polarisation hingegen wird auch teilweise reflektiert. Das reflektierte Licht ist somit vollständig linear polarisiert.

Wenn die Grenzfläche verändert wird (Höhe oder Stoff), verändert sich auch der Brewsterwinkel. Mit dem neuen Winkel ist das reflektierte Licht nicht mehr vollständig linear polarisiert. Die andere Polarisation ist auch ein bisschen reflektiert. Der Eisansatz kann mit einer Änderung der Polarisation detektiert werden.

3.3 Infrarotmessung

Die Strahlungsenergie, welche von einem Gegenstand abgestrahlt wird, kann durch folgende Beziehung beschrieben werden:

$$W = \varepsilon \cdot \sigma \cdot T^4 \quad \text{Gl. 3.1}$$

Diese ist von dem Emissionsgrad ε , der Stefan-Boltzman-Konstante σ und der Temperatur T abhängig. Der Emissionsgrad des Eises beträgt $\varepsilon = 0.98$ während ein weißer Kunststoffgegenstand einen Emissionsgrad von ca. $\varepsilon = 0.95$ besitzt. Demzufolge beeinflusst der Emissionsgrad das mit der Kamera aufgenommene Bild. Bei einem kleineren Emissionsgrad des Rotorblattes könnten die beiden Stoffe (Eis und Kunststoff) sehr einfach differenziert werden. Das Blatt kann mit einer Farbe angestrichen werden, welche einen sehr kleinen Emissionsgrad hat.

3.4 Reflexionsgrad-Messung

Mit der Arbeit [RICH] sind die Grundlagen der Messprinzipien theoretisch untersucht worden. Keine dieser Messprinzipien wurde einer praktischen Realisierung unterzogen.

Das Prinzip der Reflexionsgrad-Messung wird in dieser Arbeit weiterführend behandelt und untersucht. Das hierzu entwickelte Erkennungsverfahren ist in Bild 3.1 dargestellt. Das Messprinzip basiert auf dem Vergleich zweier Bilder. Das eine Bild stellt eine Referenz bezogen auf eine unvereiste Fläche (weißer Kunststoff) dar. Die Bilder können mit einer Kamera durch ein optisches Filter aufgenommen werden. Diese beiden Bilder werden mit einer Subtraktion bzw. mit einer Addition der Bildpunktintensitäten verglichen, und somit können die kritischen Bereiche festgestellt werden. Die beiden mathematischen Operationen werden mit einem Bildverarbeitungsprogramm unter Matlab realisiert.

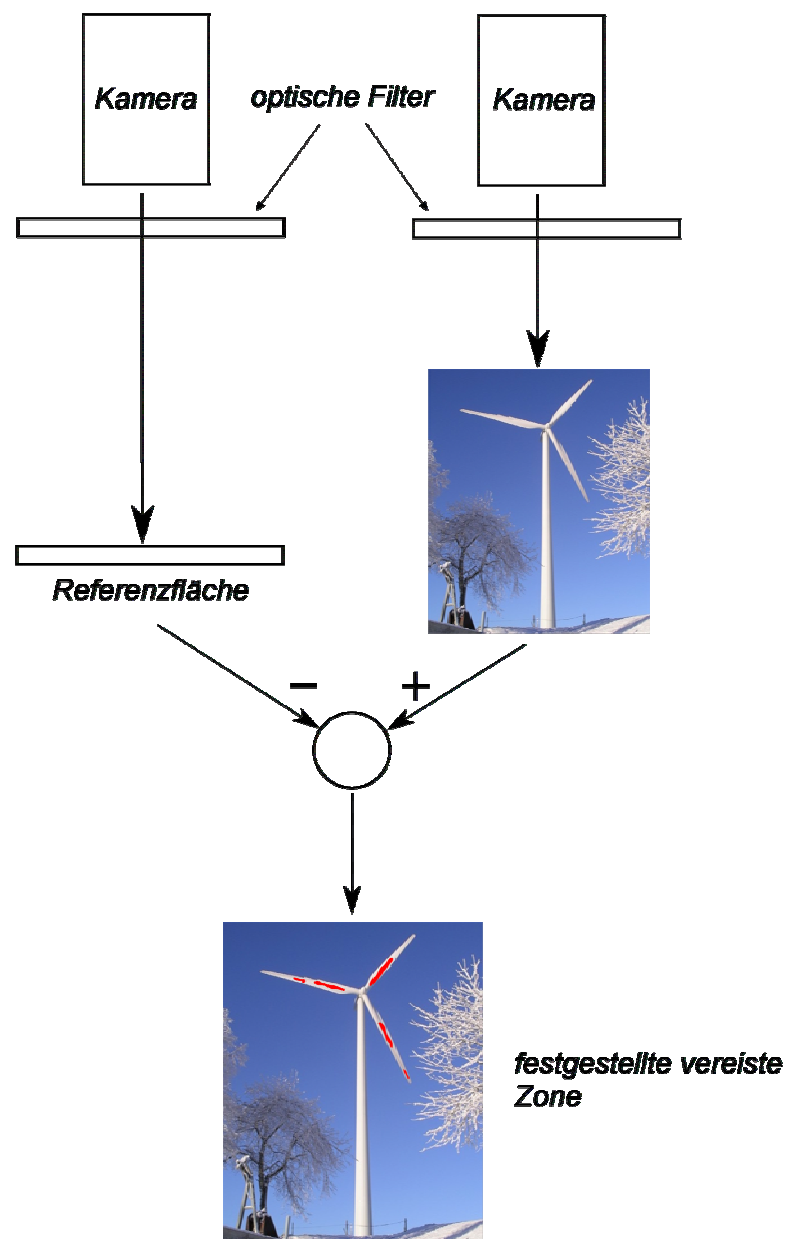


Bild 3.1: Prinzip der Reflexionsgrad-Messung

3.5 Fazit

Die Polarisationsgradmessung nutzt den Brewsterwinkel (Bild 3.2 a)) zur Messauswertung aus. Die Ergebnisse sind nach [RICH] nicht ausreichend gut für eine sichere Erkennung der Vereisung. Bei den Infrarotmessungen beeinflusst die Umgebungstemperatur zu sehr den Erkennungsprozess (Bild 3.2 b)). Somit stellt auch dieses Verfahren nur eine unbefriedigende Lösung dar.

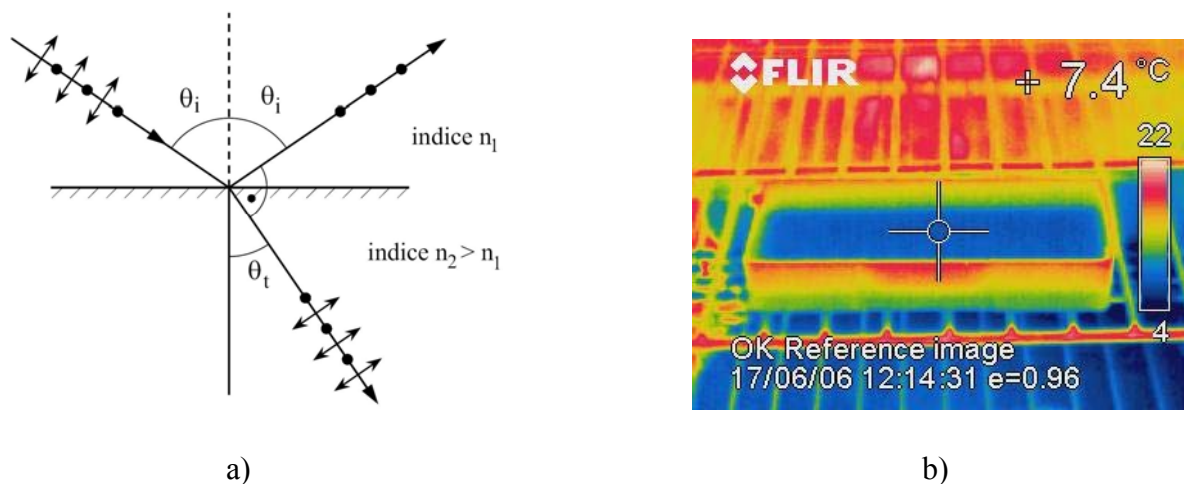


Bild 3.2: Zwei physikalische Prinzipien, in [RICH] behandelt

- a) Brewsterwinkel
- b) Infrarotmessung

Das physikalische Prinzip des Reflexionsgrades (siehe Bild 3.1) hat in der theoretischen Untersuchung die besten Ergebnisse bezüglich einer sicheren Erkennung geliefert. Somit stellt dieses Verfahren den Gegenstand weiterer Untersuchungen im Rahmen dieser Arbeit dar.

3.6 Strukturierung der weiteren Arbeiten

In einer vorangestellten theoretischen Untersuchung werden die erkennbaren Blattflächen ausgehend von einem Beobachtungspunkt mittels einer 3D-Modellierung allgemein beschrieben.

Da die Bildaufnahme nicht orthogonal zur Betrachtungsfläche erfolgt, wird im Anschluss eine allgemeine Analyse des Scheimpflug-Phänomens vorgenommen.

Nach dem die geometrischen Beziehungen der Bildaufnahme und der erkennbaren Flächen abgeschlossen ist, werden weiterführende theoretische Analysen zum Reflexionsgrad vorgenommen. Weiterhin erfolgt eine Untersuchung zur Erkennung von Aufhellungen an der Vorderkante.

Die weiterführenden theoretischen Untersuchungen werden im Anschluss mit praktischen Messungen verifiziert.

4 Bestimmung idealer Messpunkte

Nachfolgend wird die Position der Kamera definiert, um die beste Bildaufnahme bezogen auf den vorliegenden Anwendungsfall zu erhalten. Dafür ist eine 3D-Modellierung eines Rotorblattes mit einem entsprechenden Koordinatensystem zu definieren. Mit Hilfe von Simulationssequenzen soll eine optimale Kameraposition in Relation zum Blatt ermittelt werden.

4.1 3D-Modellierung eines Laborblattes

Um eine korrekte Messung zu realisieren, muss der kritische Bereich definiert werden. Dies ist der Bereich wo sich das meiste Eis befindet. In Kapitel 4.2 werden mehrere Bilder mit verschiedenen Eisbedingungen vorgestellt (Bild 4.2 und Bild 4.3). Mit diesen Bildern soll der beste Messbereich zunächst qualitativ definiert werden. Die Vereisung hängt von vielen Parametern, wie dem Wind, der Temperatur, der Feuchtigkeit, dem Blattmaterial, etc., ab. Somit ist es vergleichsweise schwierig, ein gutes Modell zu definieren. Diese Studie bezieht sich im Wesentlichen auf die Bilder des COST-Projekts [COST] (siehe hierzu Kapitel 4.2). Die Kamera muss möglichst alle vereisungsrelevanten Zonen erfassen. Also ist eine Analyse der relevanten Messbereiche notwendig, um die Position der Kamera zu definieren. Um die optimale Position der Kamera zu finden, ist eine 3D-Modellierung eines Rotorblattes einer Kleinwindkraftanlage vorgenommen worden. Das Blatt hat eine Länge von 1.45 m und weist die gleiche Blattgeometrie einer Großanlage auf. Es ist mit Hilfe der Baupläne von H. Zoyke, der in seiner Diplomarbeit ein Rotorblatt entwickelt hat, gezeichnet worden (Anlage F).

Hierbei steht nur eine Kamera zur Verfügung bei einer relativ komplexen Blattgeometrie. So muss eine Position ermittelt werden, in der alle kritischen Bereiche erfasst werden. Mit dem 3D-Programm Rhinoceros [RHINO] wird eine entsprechende Modellierung vorgenommen, um benötigten Simulationssequenzen zu erzeugen.

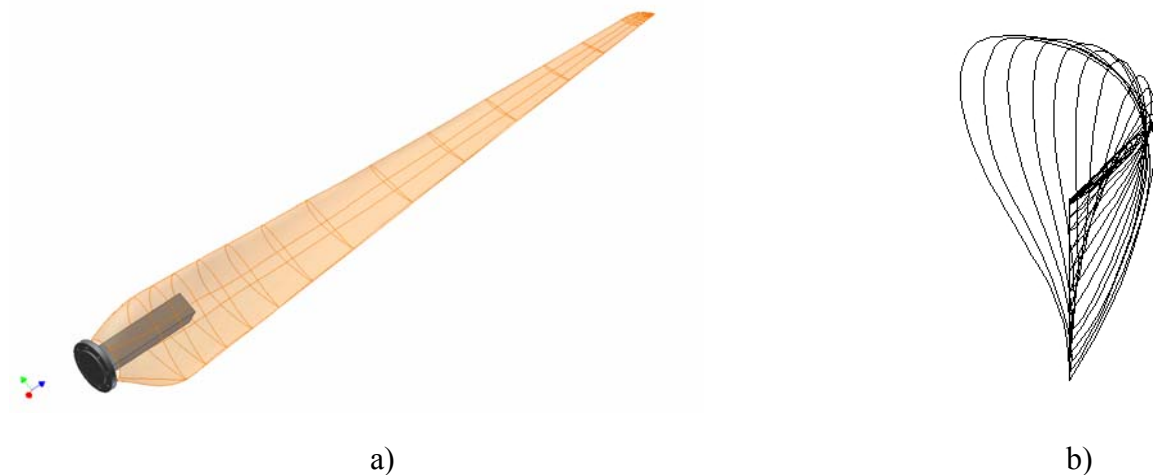


Bild 4.1: 3D-Modellierung des Rotorblattes

- a) Rotorblatt (mit Rhinoceros gezeichnet)
- b) das aerodynamische Profil des Blattes

4.2 Bestimmung des Messbereichs

Eine Wissenschaftlergruppe der „Alpine Test Site Gütsch“ arbeitet an dem Projekt „Meteorological Measurements and Wind Turbine Performance Analysis“ [COST]. Die Zusammenfassung der Projektergebnisse kann in der Anlage A nachgelesen werden. Die Bergregion mit der Bezeichnung Gütsch befindet sich in der Schweiz in der Nähe von Andermatt. Auf einer Höhe von 2300 m befindet sich hier eine Windkraftanlage vom Typ E-40 der Firma Enercon. Eine Webcam ist auf der WKA-Gondel installiert, um den Eisansatz zu beobachten. In Bild 4.2 sind einige Beispiele von vereisten Rotorblättern dargestellt. Mit diesen Bildern und dem in Bild 4.3 dargestellten Beispiele können zunächst die kritischen Zonen qualitativ bestimmt werden. Sehr häufig ist ein Eisansatz auf der Vorderkante und an der Blattspitze des Rotorblattes zu finden. Mit Hilfe dieser Information sind mehrere Punkte auf dem Modellblatt mit verschiedenen Winkelbeziehungen festgelegt worden (siehe Simulationssequenzen in Kapitel 4.4).



Bild 4.2: Vereiste Rotorblätter in Andermatt (Schweiz) [COST]



Bild 4.3: Vereistes Rotorblatt [ENERTRAG]

4.3 Bestimmung der Kameraposition

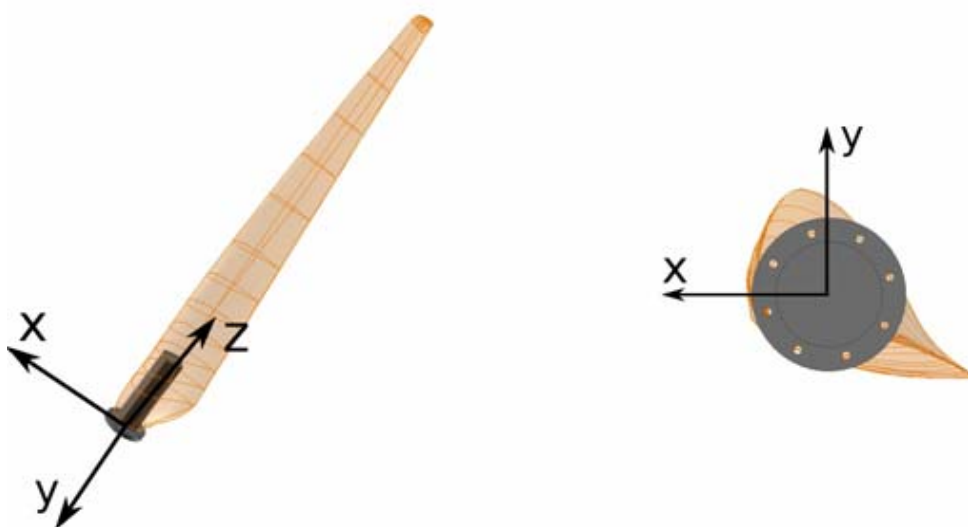
In dem 3D-Programm “Rhinceros“ [RHINO] kann eine Position der Beobachtungskamera definieren werden. Die Position der Kamera wird bezogen auf den Koordinatenursprung über die drei Koordinaten x , y und z definiert. Die Koordinatenfestlegung (Koordinatenursprung) ist Bild 4.4 zu entnehmen. Der Ursprung des Koordinatensystems befindet sich auf dem

Flansch. Die projizierte Bildfläche bezogen auf einen Blattpunkt hängt wiederum von sechs Parametern ab (siehe Bild 4.5).

Diese sind:

1. Position der Kamera auf der Beobachtungsebene (Winkel α) [$^{\circ}$]
2. Radius der Beobachtungsebene (R) [mm]
3. Vertikale Position der Zielscheibe [mm]
4. Vertikale Position der Kamera/der Beobachtungsebene [cm] (Ursprung: die Nabe)
5. Blattverstellwinkel [$^{\circ}$] (70% der Länge $\rightarrow 0^{\circ}$)
6. Blattdrehwinkel [$^{\circ}$] ($0^{\circ} \rightarrow$ das Blatt und die Kamera sind parallel)

Der Parameter 5 wird nicht benutzt, weil der Blattverstellwinkel im Prinzip über einen weiten Betriebsbereich const. bleibt bzw. bis zum Erreichen der Nennleistung nur gering verändert wird. Der Pitch-Winkel wird bezogen auf einen Winkel von 90° bei 70% der Blattlänge. Das ist die rote Linie in Bild 4.7. Wenn der Winkel 90° beträgt, ist die rote Linie senkrecht zu der Windrichtung ausgerichtet. Die optimale Kameraposition ist natürlich von dem Pitch-Winkel abhängig. Damit das Verfahren nicht im ersten Schritt bezüglich der Parameter zu kompliziert wird, wird in den weiteren Betrachtungen ein fester Pitch-Winkel von 90° bei 70% der Blattlänge angenommen. Der Blattverstellwinkel (Parameter 6) wird ebenfalls nicht benutzt, weil die Kamera in vorliegendem System immer dem Rotorblatt in der Drehung folgt. Die vier bleibenden Parameter werden in Bild 4.5 beschrieben.



a)

Bild 4.4: 3D-Koordinatensystem

b)

a) Seitenansicht des Rotorblattes

b) Ansicht von unten

Der Kreis, der sich über den Rotorflansch befindet, entspricht der zurückgelegten Bahn der Kamera. Die Kamera folgt dieser Bahn, aber sieht immer denselben Punkt (roter Punkt). Nur der Parameter 1 verändert sich hierbei.

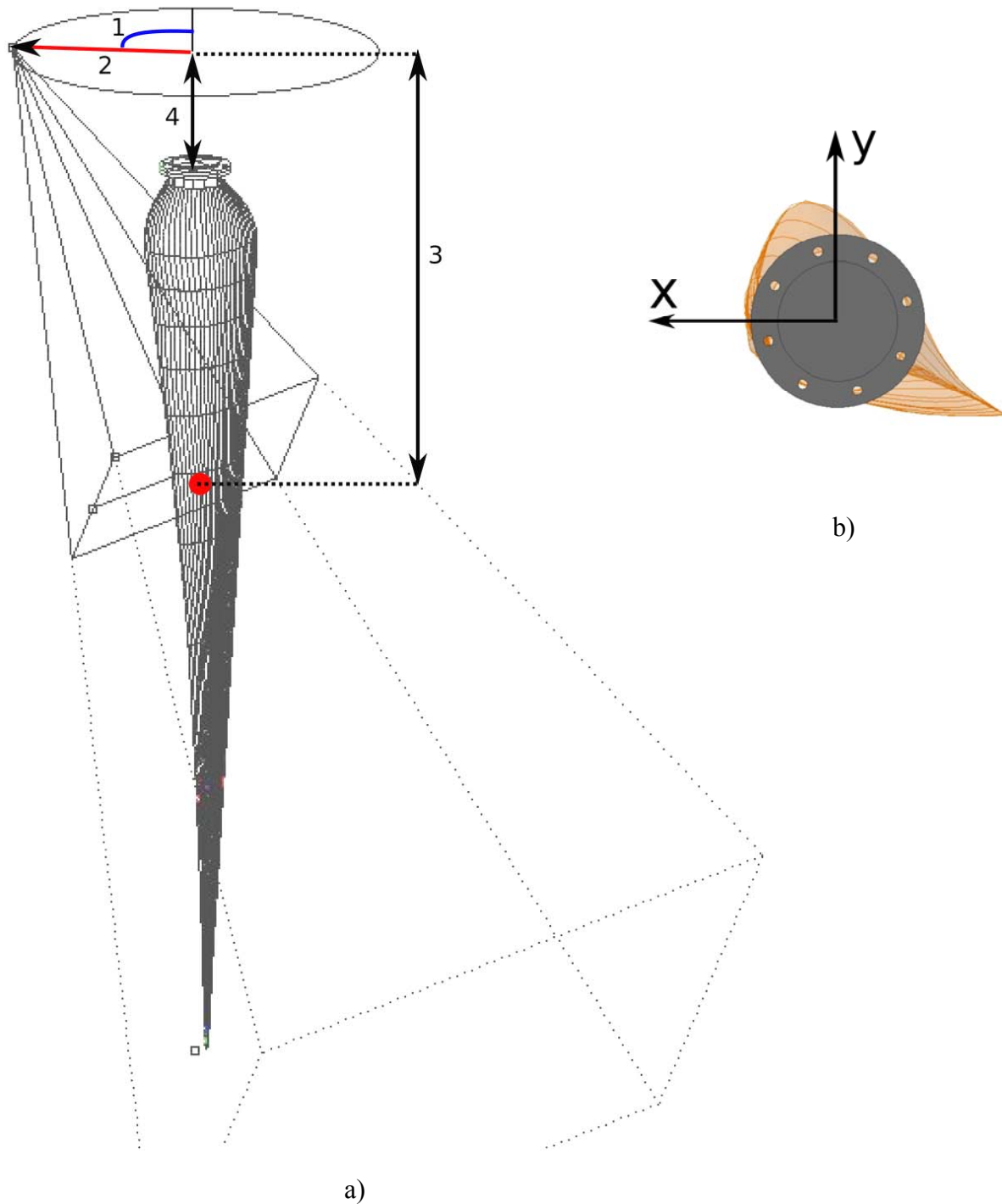


Bild 4.5: Parameter der Koordinaten

- a) Parameter
- b) Winkel α in der x-y Ebene

4.4 Berechnung der Kamera- und der Bildpunktkoordinaten

Die Kamera- und Bildpunktposition hängen von Koordinaten und Winkeln ab. Diese Variablen werden nachfolgend definiert:

x_1 : Koordinate x der Kamera [mm]

y_1 : Koordinate y der Kamera [mm]

z_1 : Koordinate z der Kamera [mm]

x_2 : Koordinate x des Bildpunktes [mm]

y_2 : Koordinate y des Bildpunktes [mm]

z_2 : Koordinate z des Bildpunktes [mm]

β : Orientierung der Kamera in der x-z Ebene [°]

γ : Orientierung der Kamera in der y-z Ebene [°]

θ : Orientierung der Kamera im Vergleich zu der z-Achse [°]

4.4.1 Koordinaten der Kamera

Die Kameraposition hängt von drei Parametern ab. Die Koordinaten x und y werden in Abhängigkeit von dem Winkel α (Bild 4.5 b)) und dem Radius R (Parameter 2 – Bild 4.5 a)) berechnet. Die Koordinate z entspricht der vertikalen Position der Beobachtungsebene (Parameter 4 – Bild 4.5 a)).

$$x_1 = \cos \alpha \cdot R \quad \text{Gl. 4.1}$$

$$y_1 = \sin \alpha \cdot R \quad \text{Gl. 4.2}$$

$$z_1 = \text{Parameter 4} \quad \text{Gl. 4.3}$$

4.4.2 Koordinaten des Bildpunktes:

Für die Simulationen variiert die Bildpunktposition nur im Vergleich zu der z-Achse. Die Koordinatenpunkte x_2 und y_2 bleiben gleich Null. Der Punkt z_2 kann zwischen 0 mm bis 1480

mm liegen (Parameter 3 – Bild 4.5 a)). Jenseits von diesem Wert ist die Aufnahme nicht mehr gut.

$$x_2 = 0 \quad \text{Gl. 4.4}$$

$$y_2 = 0 \quad \text{Gl. 4.5}$$

$$z_2 = \text{Parameter 3} \quad \text{Gl. 4.6}$$

4.4.3 Orientierung der Kamera

Zwischen der Kamera und der z-Achse gibt es einen Winkel (θ), welcher in drei Schritten berechnet wird. Zuerst werden die Winkel β und γ berechnet. Der Winkel β befindet sich in der x-z Ebene und der Winkel γ in der y-z Ebene. Die einzelnen Winkel berechnen sich wie folgt:

Winkel in der x-z Ebene

$$\beta = \arctan\left(\frac{x_2 - x_1}{z_2 - z_1}\right) \quad \text{Gl. 4.7}$$

Winkel in der y-z Ebene

$$\gamma = \arctan\left(\frac{y_2 - y_1}{z_2 - z_1}\right) \quad \text{Gl. 4.8}$$

Winkel zwischen der Kamera und der z-Achse

$$\theta = \arctan\left(\frac{\sqrt{x^2 + y^2}}{z}\right) = \arctan\left(\frac{\sqrt{(x_2 - x_1)^2 + (y_2 - y_1)^2}}{z_2 - z_1}\right). \quad \text{Gl. 4.9}$$

Die drei Parameter können z.B. mit Hilfe einer Excel-Tabelle berechnet werden (siehe Bild 4.6 und Anlage B). Jetzt sind alle die Parameter bekannt, um die Simulationssequenzen mit Rhinoceros [RHINO] zu erzeugen (Kapitel 4.5).

Parameters zu variieren:

- 1 Position der Kamera auf der Beobachtungsebene (Winkel) [°]
- 2 Radius der Beobachtungsebene [mm]
- 3 Neigungswinkel der Kamera (hängt von der vertikale Position der Zielscheibe ab) [mm]
- 4 Vertikale Position der Kamera/der Beobachtungsebene [cm] (Ursprung: die Nabe)
- 5 Blattverstellwinkel [°] (70% der Länge -> 0°)
- 6 Blattdrehwinkel [°] (0° -> das Blatt und die Kamera sind parallel)

Ziel: die Koordinaten x, y und z für jede Variation finden.

Aufgabe 1: die Koordinaten x, y und z für jede Variation finden.												Neigungswinkel der Kamera		
Parameters						Kamera [mm]			Zielscheibe [mm]			x-z Ebene	y-z Ebene	Im Vergleich zu z-Achse
												β	γ	θ
1	2	3	4	5	6	x1	y1	z1	x2	y2	z2	β	γ	θ
150	300	1480	-300	0	0	-259.81	150	-300	0	0	1480	8.30	-4.82	9.57

Bild 4.6: Berechnung der Koordinaten (Auszug der Anlage B)

4.5 Simulationssequenzen

In Bild 4.5 wird ein Simulationsmodell beschrieben. Mit Hilfe dieses Modell sind mehrere Simulationssequenzen mit Variation der vorgenannten Parameter erzeugt worden. Mit Hilfe einer Tabellen-Kalkulation (siehe Anlage B und Bild 4.6) sind die drei Koordinaten x, y und z in Abhängigkeit von den Parametern 1 bis 6 berechnet worden. Dabei wurden 140 verschiedene Simulationssequenzen erzeugt. Eine erste Selektion ist gewählt worden und fünf Sequenzen sind aufgegriffen worden. Hundert Bilder pro Sequenz werden erzeugt und die Kamera bewegt sich auf einem Kreis (360°). So gibt es ein Bild pro 3.6°. Ein Beispiel wird in Bild 4.7 vorgestellt. Hier gibt es nur eine Winkelschwankung von 10.8° (4 Bilder).

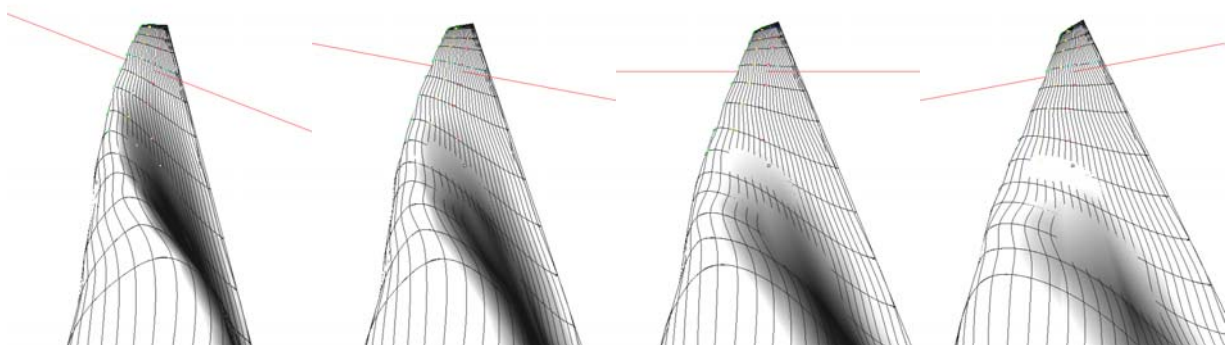


Bild 4.7: Simulationssequenzen der Blattdrehung (Beispiel)

4.6 Idealer Messpunkt

In Anlage C befinden sich fünf verschiedene Simulationssequenzen (Simulationen 56, 77, 98, 118, 133). Das erste Bild entspricht einem Winkel α von 90° (Bild 4.5 und 4.6, Parameter 1). Dann, verändert sich der Winkel für jedes Bild. Das Inkrement ist 3.6° , also variiert der Winkel von 90° bis 50.4° . Die anderen Positionen sind nicht interessant, weil die kritische Zone nicht gut gemessen werden kann. Mit Hilfe dieser Sequenzen muss die beste Lösung gefunden werden. Eine Sequenz muss gewählt werden und dann ein Winkel für die Kameraposition ($90^\circ \rightarrow 50.4^\circ$).

Die Simulationssequenz $n^\circ=118$ mit dem Bild $n^\circ 16$ gibt die besten Ergebnisse (Anlage B und D). Dieses Bild entspricht einem Winkel α von 57.6° . Dieser Punkt ist in Bild 4.8 dargestellt. Die Informationen über den idealen Messpunkt sind:

- Koordinaten der Kamera:

$$x = 160.75 \text{ mm};$$

$$y = 253.3 \text{ mm};$$

$$z = -200 \text{ mm};$$

- die Koordinaten der Zielscheibe:

$$x = 0 \text{ mm};$$

$$y = 0 \text{ mm};$$

$$z = 500 \text{ mm};$$

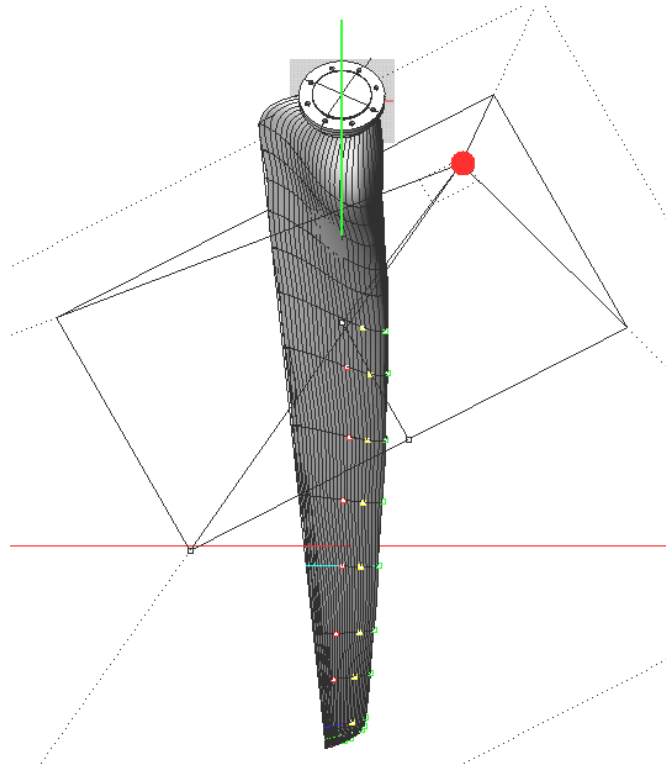


Bild 4.8: Simulationssequenz n°118 – Bild 16

Dieser Punkt repräsentiert die beste Position der Kamera. Das Problem ist, dass sich die Kamera nicht auf der Achse der Nabe befindet. In Bild 4.8 wird die Kamera durch den roten Punkt repräsentiert. In dieser Position ist es schwierig die Kamera zu befestigen und die drei Rotorblätter nur mit einer Kamera zu vermessen. Außerdem ist die Nabenbauform nicht bekannt. Wenn die Kamera sich auf dieser Achse befindet, filmt diese eine andere Projektion:

- Koordinaten der Kamera:
 $x = 0 \text{ mm};$
 $y = 300 \text{ mm};$
 $z = -200 \text{ mm};$
- Die Zielscheibe bleibt gleich.

In Bild 4.9 stellt der rote Punkt die Kameraposition dar. Diese befindet sich auf der Achse der Nabe.

Das Ergebnis dieser Lösung kann mit der Simulationssequenz 118/Bild 25 beobachtet werden (Anlage E). Der Messpunkt, wie in Bild 4.8 dargestellt, ist zwar schwieriger zu realisieren, liefert aber bessere Ergebnisse als die in Bild 4.9 dargestellte Lösung. Mit Hilfe eines gekrümmten Arms, der die Kamera trägt, kann dieser Messpunkt realisiert werden. Hierzu ist eine mechanische Studie des Arms zu realisieren (mechanische Resistenz).

Die kritischen Messbereiche, die gewählt worden sind, stützen sich nur auf die Messansätze des COST-Projekts und von Enertrag [ENERTRAG]. Hierbei bedarf es weiterer Untersuchungen, da sehr viele Parameter den Eisansatz beeinflussen.

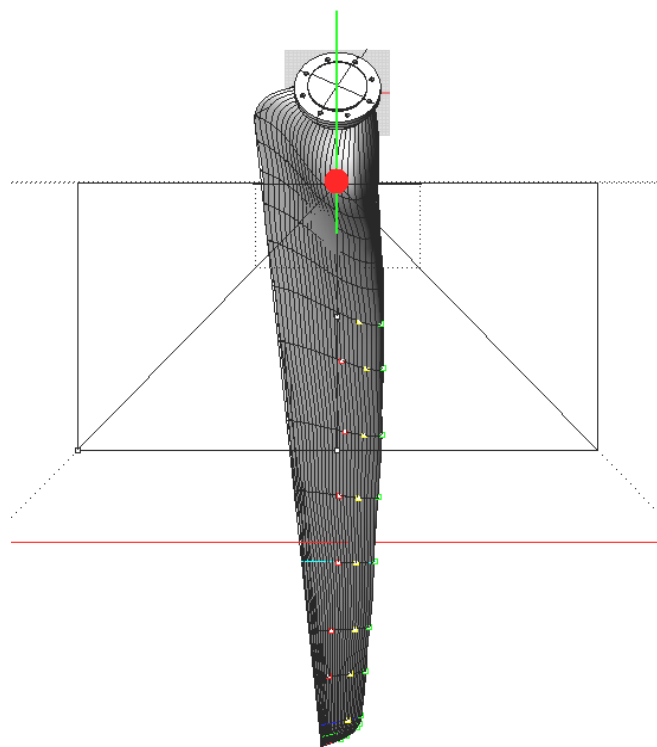


Bild 4.9: Simulationssequenz n°118 – Bild 25

5 Simulation der Scheimpflug-Regel

Um brauchbare Messergebnisse zu erhalten, sind scharfe Aufnahmen vom Rotorblatt notwendig. Hierbei muss die Scheimpflug-Regel berücksichtigt werden, da ein Problem mit der Scharfentiefe auftritt. In der Fotografie wird dieses Prinzip für spezielle Bildaufnahmen benutzt.

5.1 Problematik

In dem vorliegenden Fall ist es unmöglich eine ganze Fläche scharf aufzunehmen. Die Kamera und deren Objektiv ist nicht genau für vorliegende Anwendung ausgewählt worden. Die Kamera befindet sich sehr nah an dem Sockel (ungefähr 30 cm) während die Blattlänge 150 cm beträgt. Da die Tiefenschärfe nicht groß genug ist, kann diese mit der Blende vergrößert werden. Dies reicht aber nicht aus, um die gesamte Fläche zu erfassen. In diesem Fall ist die Scheimpflug-Regel anzuwenden.

Bild 5.1 zeigt zwei Aufnahmen des Rotorblattes, welche an zwei unterschiedlichen Stellen scharf eingestellt und ohne Tilt-Objektiv aufgenommen wurden. Es ist erkennbar, dass die Aufnahmen jeweils nur in einem Bereich scharf sind. Somit sind zwei Bilder pro Position notwendig um alle Bereiche scharf zu sehen.



a) Bild 5.1: Scharfeinstellung der Kamera b)

- a) Scharfeinstellung am Anfang des Blattes (in der Nähe von dem Rotorflansch)
 - b) Scharfeinstellung am Ende des Blattes
-

5.2 Rechnung der Scharfentiefe

Nachfolgend wird die Scharfeinstellungsweite, die in dem Fall des modellierten Rotorblattes (siehe Bild 4.1 a)) notwendig ist, berechnet.

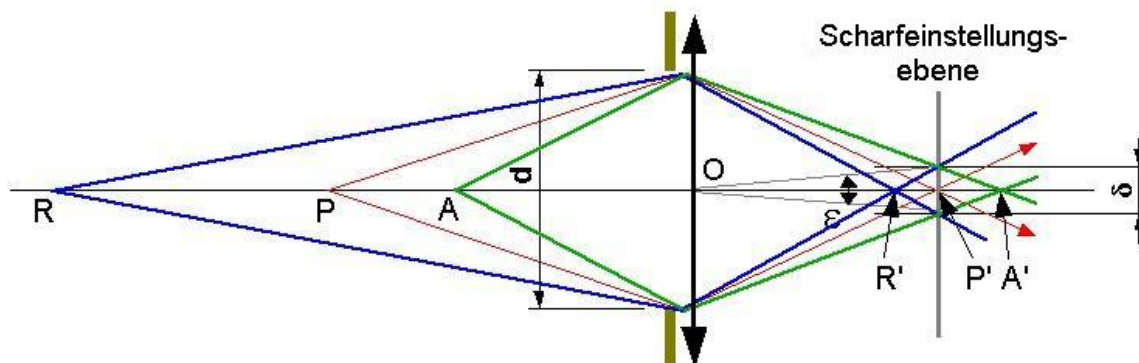


Bild 5.2: Scharfeinstellung [WIKI]

Die Scharfeinstellung muss an eine Weite p angepasst werden:

$$p = \frac{2 \cdot a \cdot r}{a + r} = \frac{2 \cdot 360 \cdot 1820}{360 + 1820} = 601 \text{ mm} \quad \text{Gl. 5.1}$$

wobei a die Weite OA und r die Weite OR darstellen (siehe Bild 5.2).

Dann kann die maximale Blendeöffnung folgendermaßen bestimmt werden:

$$n = \frac{f \cdot (r - a)}{2 \cdot a \cdot r \cdot \varepsilon} = \frac{12.5 \cdot 10^{-3} \cdot (1820 - 360)}{2 \cdot 360 \cdot 1820 \cdot \frac{1}{1500}} = 20.89 \quad \text{Gl. 5.2}$$

wobei f die Brennweite und ε die Winkel-Schärfe darstellen (siehe Bild 5.2).

Die Scharfeinstellungsweite p oder OP ist korrekt. Die entsprechende Blendenöffnung ist aber nicht annehmbar, weil die minimalen Werte (in der Fotografie) bei 16. Mit dieser Blendenöffnung ist es nicht möglich ein gutes Bild aufzunehmen, da eine zu lange Belichtungsdauer erforderlich wäre. Also muss die Scheimpflug-Regel analysiert werden, um eine Lösung zu finden.

5.3 Prinzip

Die Scheimpflugsche Regel oder Scheimpflug-Bedingung ist eine der zwei Bedingungen, welche bei der Fotografie eingehalten werden müssen, damit das Bild scharf ist. Sie wurde 1907 von dem österreichischen Offizier und Kartographen Theodor Scheimpflug (1865 — 1911) entwickelt.

Die Regel besagt, dass sich die Bild-, Objektiv- und Schärfebene in einer gemeinsamen Schnittgeraden schneiden müssen, damit alle Objekte der Schärfebene (auch Projektions-, Objekt- oder Gegenstandsebene genannt) auf der Bildebene scharf abgebildet werden.

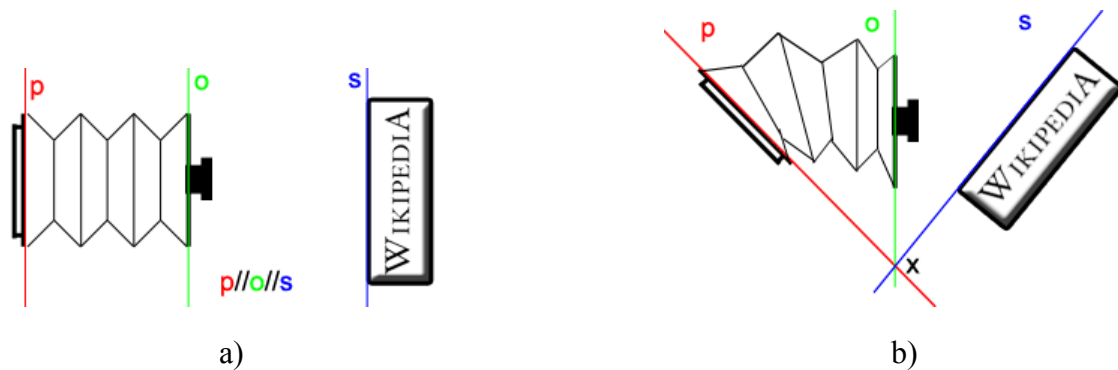


Bild 5.3: Scheimpflug-Regel [WIKI]

- a) ohne Winkel zwischen dem Sensor und der Objektiv
- b) mit einem Winkel zwischen dem Sensor und das Objektiv

Die zweite Bedingung ist die Abbildungsgleichung der Optik, wonach für jeden Punkt, der scharf abgebildet werden soll, die folgende Bedingung erfüllt sein muss:

$$-\frac{1}{a} + \frac{1}{a'} = \frac{1}{f} \quad \text{Gl. 5.1}$$

wobei a die Gegenstandsweite, a' die Bildweite und f die Brennweite des Objektivs darstellen.

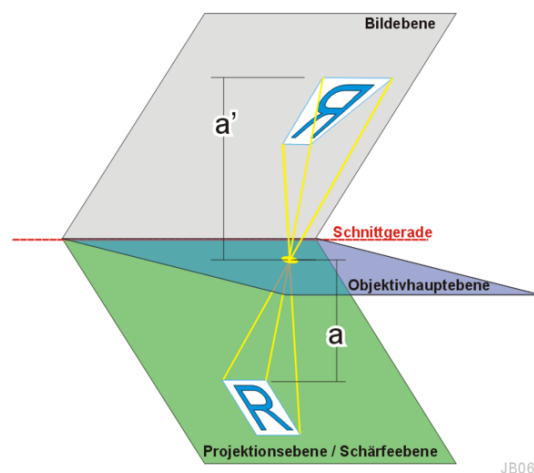


Bild 5.4: Zweite Bedingung für ein scharfes Bild [WIKI]

Eine Simulation dieses Phänomens ist mit Hilfe eines Optiks simulationsprogramms [RAY] gemacht worden. Eine Linie AB fällt durch eine Linse. Die Schärfebene ist nicht parallel zu der Linse. Damit die Linie A'B' scharf ist, muss die Sensorfläche auch nicht parallel zu der Linse stehen.

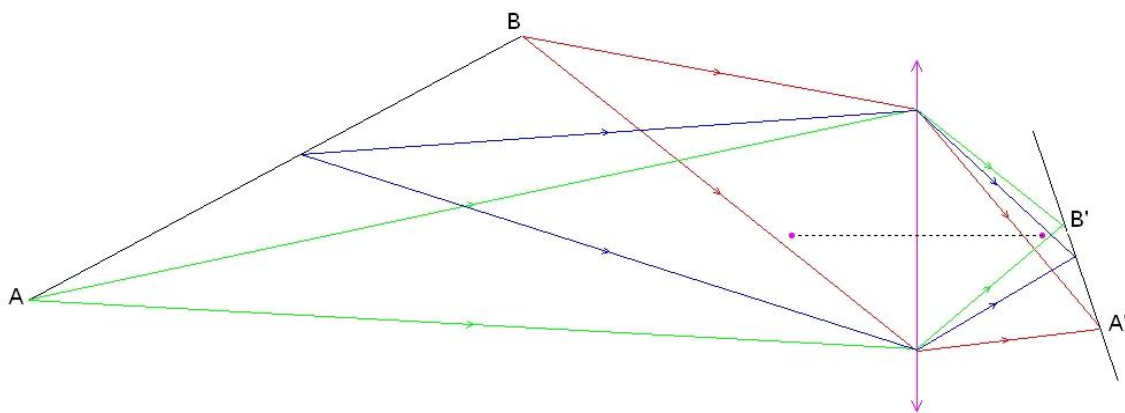


Bild 5.5: Simulation der Scheimpflug-Regel (raytrace) [RAY]

5.4 Lösung

Dieses Problem kann mit einem speziellen Objektiv gelöst werden. Das ist ein Tilt-Objektiv (siehe Bild 5.6). Ein Mechanismus zwischen dem Sensor und dem Objektiv gestattet einen kleinen Winkel zu erstellen. In Fotografie ist ein Winkel von 8° maximal. In unserem Fall müssen wir den Winkel auch mit dem Scheimpflugschen Regel berechnen.



Bild 5.6: Die TS-E 24 mm f/3.5L Objektiv von Canon [CAN]

Dieses Objektiv hat auch eine zweite Funktion. Es ist auch ein Shift-Objektiv, das die Linse im Vergleich zu der optischen Achse verschieben kann. Ohne dieses Objektiv werden die hohen Gegenstände verformt, wie in Bild 5.7 dargestellt. Im Falle eines kleinen Rotorblattes ist diese Funktion nützlich, aber für ein großes Rotorblatt (z.B. E-70) kann es erforderlich sein, das Bild zu verbessern. Wichtige Informationen über die Blattspitze können somit gespeichert werden.

Für die folgenden Messungen wird dieses Problem nicht erfasst, weil das analysierte Blatt sehr klein ist.

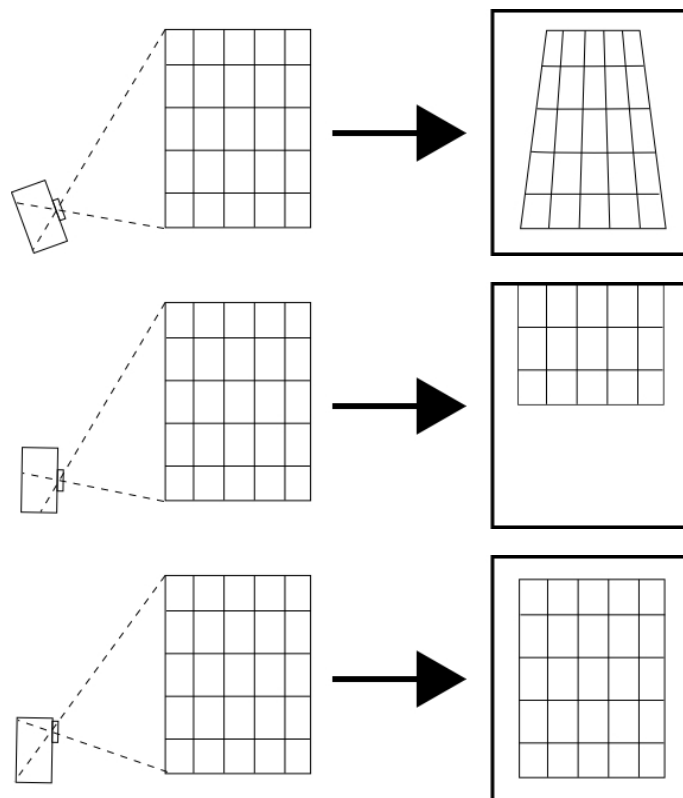


Bild 5.7: Shift-Objektiv

Bild 5.8 zeigt beispielhaft die notwendige Berechnung des Winkels (α).

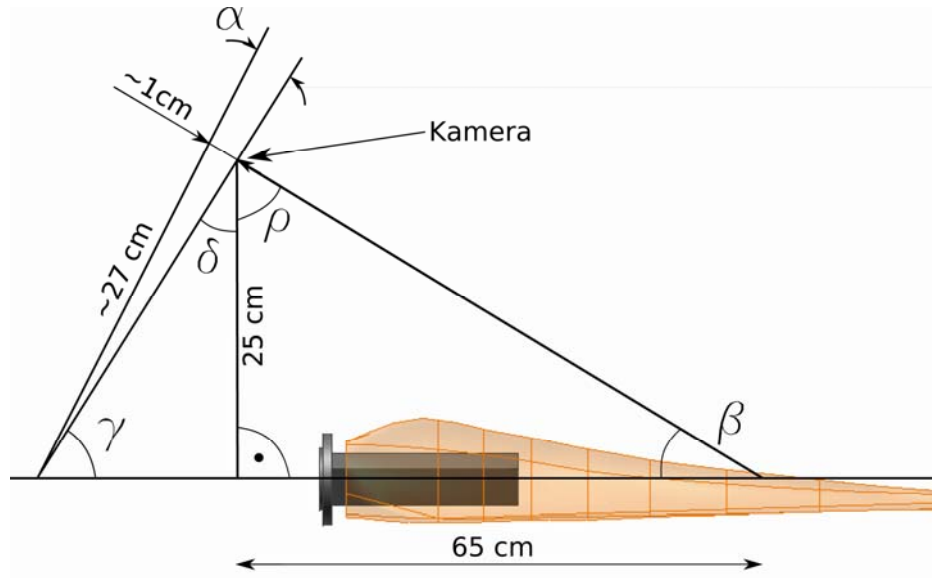


Bild 5.8: Berechnung des Scheimpflug-Winkels

$$\beta = \arctan \theta \left(\frac{25}{65} \right) = 21^\circ$$

$$\rho = 180 - 90 - \beta = 180 - 90 - 21 = 69^\circ$$

$$\delta = 90 - \rho = 90 - 69 = 21^\circ$$

Gl. 5.2

$$L = \frac{25}{\cos \delta} = \frac{25}{\cos 21^\circ} \approx 27 \text{ cm}$$

$$\alpha = \arcsin \frac{1}{27} = 2.12^\circ$$

Der Winkel $\alpha = 2.12^\circ$ zwischen dem Objektiv und dem Sensor ist sehr klein, aber notwendig um ein ganz scharfes Bild zu erhalten.

Die Verarbeitung des Mechanikteils ist aber zu kompliziert, da der Winkel zu klein ist und der Platz zwischen dem Sensor und dem Objektiv der Photonfocus-Kamera [PHO] nicht ausreicht.

Eine andere Lösung ist, zwei oder drei konsekutive Bilder zu aufnehmen, wie ein Scan des Rotorblattes. Der Nachteil ist, dass jedes Mal die Scharfeinstellung verändern werden muss um ein scharfes Bild zu erzielen.

Eine weitere Lösung ist, die Entfernung von dem Rotorblatt zu vergrößern. In Bild 5.9 werden zwei Bilder verglichen. Die Scharfeinstellung wird einmal am Anfang des Blattes und einmal am Ende des Blattes angepasst. Die Kamera befindet sich ungefähr zwei Meter von dem Rotorblatt entfernt. Die beiden Bilder liefern fast dasselbe Ergebnis und zwei scharfe Bildflächen. Der Nachteil hierbei ist die Länge der Kameraträger und die Ergebnisse (Messbereiche) sind im Vergleich zur idealen Aufnahme schlechter.

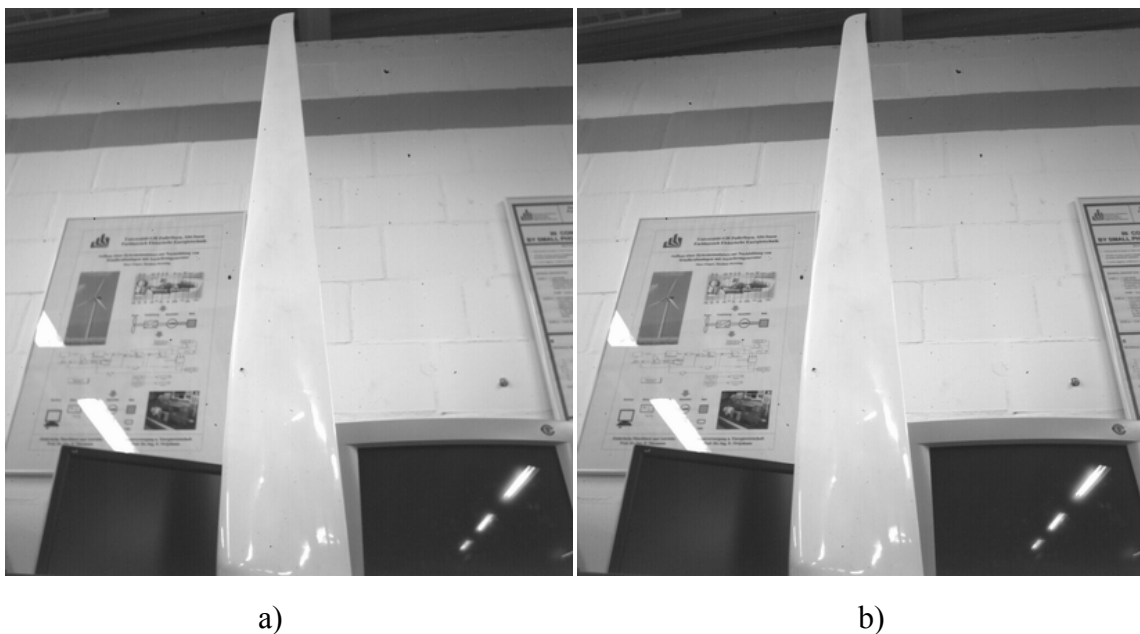


Bild 5.9: Entfernung der Kamera

- a) Scharfeinstellung am Anfang des Blattes (in der Nähe von dem Rotorflansch)
- b) Schareinstellung am Ende des Blattes

6 Messprinzip

Nachfolgend wird der Messprinzip sowie dessen physikalischer Hintergrund erläutert. Die spektroskopischen Charakteristiken des Wassers und des Eises werden untersucht und dann die entsprechenden optischen Filter gewählt.

6.1 Physikalisches Prinzip

Die spektroskopischen Messungen basieren auf dem Prinzip des Reflexionsgrades in Abhängigkeit der Wellenlänge. Nachfolgend wird dieses Prinzip und dessen Anwendung im Rahmen dieses Projektes erklärt.

6.1.1 Definition des Reflexionsgrades

Der Reflexionsgrad ρ (Reflexionsvermögen) ist das Verhältnis zwischen reflektierter und einfallender Intensität, z. B. Lichtstrom, bei Schallwellen ist es der Schalldruck. Es handelt sich um eine gestörte Ausbreitung.

$$\rho = \frac{I_r}{I} \quad \text{Gl. 6.1}$$

- Der Reflexionsgrad ρ ist ein Maß für die reflektierte Intensität.
- Der Absorptionsgrad α ist ein Maß für die absorbierte Intensität.
- Der Transmissionsgrad τ ist ein Maß für die durchgelassene Intensität.
- Der Dissipationsgrad δ ist ein Maß für die "verloren gegangene" Intensität.

Zusammenhänge:

$$\begin{aligned} \rho + \alpha &= 1 \\ \rho + \tau + \delta &= 1 \\ \alpha &= \tau + \delta \end{aligned} \quad \text{Gl. 6.2}$$

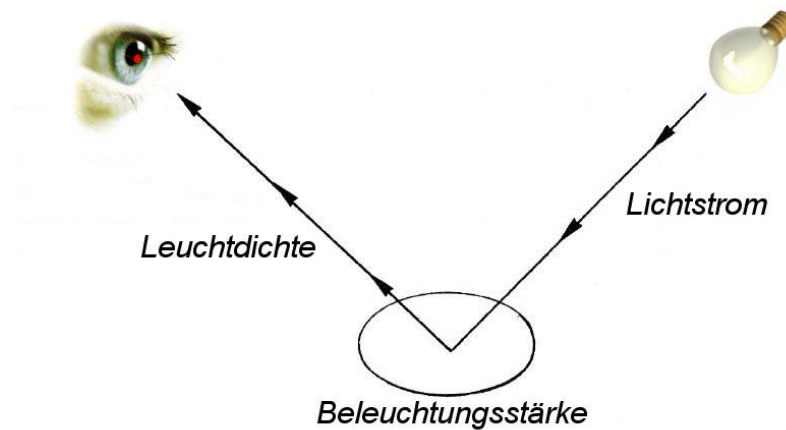


Bild 6.1: Reflexionsgrad

Gemeint ist im Allgemeinen auch das gestreute Zurückwerfen von Intensität (des Lichts) an nicht spiegelnden Flächen. In der Astronomie wird der Begriff Albedo für den diffus reflektierten Lichtstrom verwendet.

Im Gegensatz zum Reflexionsgrad ρ bezieht sich der Reflexionskoeffizient r auf die Amplitude. Diese beiden Kenngrößen unterscheiden sich dabei kaum voneinander.

6.1.2 Reflexionsgrad des Wassers

Der Reflexionsgrad ist von dem Stoff abhängig. Die Vereisungsmessung arbeitet mit Wasser. Dieses kann sich aber in drei Zuständen befinden. Diese Zustände sind Wasser, Schnee (oder Reif) und Eis. Der Reflexionsgrad ist von dem Stoff abhängig aber auch von seinem Zustand. In Kapitel 6.2 werden die Reflexionsgrade in Abhängigkeit des Stoffszustands beschrieben.

6.1.3 Messprinzip

Der Reflexionsgrad ist von der Wellenlänge abhängig. Die Kamera nimmt ein Bild des Rotorblattes mit optischen Filtern auf. Diese Filter werden benutzt, um nur mit ein oder zwei Wellenlängen zu arbeiten. Die Wahl dieser Filter hängt von der spektroskopischen Charakteristik des Wassers und des Eises ab (Kapitel 6.2). Es werden zwei Bilder für jedes Filter aufgenommen. Im ersten Bild ist das Eis sichtbarer, während im zweiten das Wasser sichtbarer ist. Mit einem Bildverarbeitungsprogramm werden diese zwei Bilder verglichen, die kritische Zone gut sichtbar gemacht und der Zustand des Wassers bestimmt.

6.2 Spektroskopische Charakteristik des Wasser und des Eises

In Bild 6.2 ist eine graphische Darstellung des Reflexionsgradsverhältnisses zwischen zwei verschiedenen Flächen zu sehen. Die Referenzfläche wird aus Aluminium gebildet. Eine Fläche wird mit Wasser oder Eis überdeckt, und die andere besteht aus Aluminium. Die y-Achse gibt das Verhältnis zwischen dem Reflexionsgrad der bedeckte Fläche und der Aluminiumfläche wieder. Im oberen Bild befindet sich die Messung mit zwei verschiedenen Wasserdichten und im unteren Bild mit zwei verschiedenen Eisdichten. Die Dichten betragen 1mm und 1.5mm. In dieses Bild ist das Reflexionsgrad von der Wellenlänge abhängig. Der normierte Reflexionsgrad berechnet sich wie folgt:

$$NR = \frac{\rho_w}{\rho_{Al}} \quad \text{Gl. 6.3}$$

mit:

- NR: normierte Reflexionsgrad
- ρ_w : Reflexionsgrad der bedeckten Fläche
- ρ_{Al} : Reflexionsgrad der Aluminiumplatte

In Bild 6.2 sind zwei Spitzen zu sehen, welche dem kleineren Reflexionsgrad entsprechen. Der kleinste Reflexionsgrad des Wassers gilt für eine Wellenlänge von 980 nm. Für das Eis ist es 1030 nm. In der Theorie können zwei Bilder für diese Wellenlänge aufgenommen und verglichen werden. Wenn der Reflexionsgrad des Wassers maximal ist, ist der Reflexionsgrad vom Eis minimal. Und wenn der Reflexionsgrad vom Eis maximal ist, ist der Reflexionsgrad vom Wasser minimal. Für diese beiden Wellenlängen ist der Unterschied zwischen den Reflexionsgraden des Eises und des Wassers am Größten. So können die beiden Zustände des Wassers leichter differenziert werden.

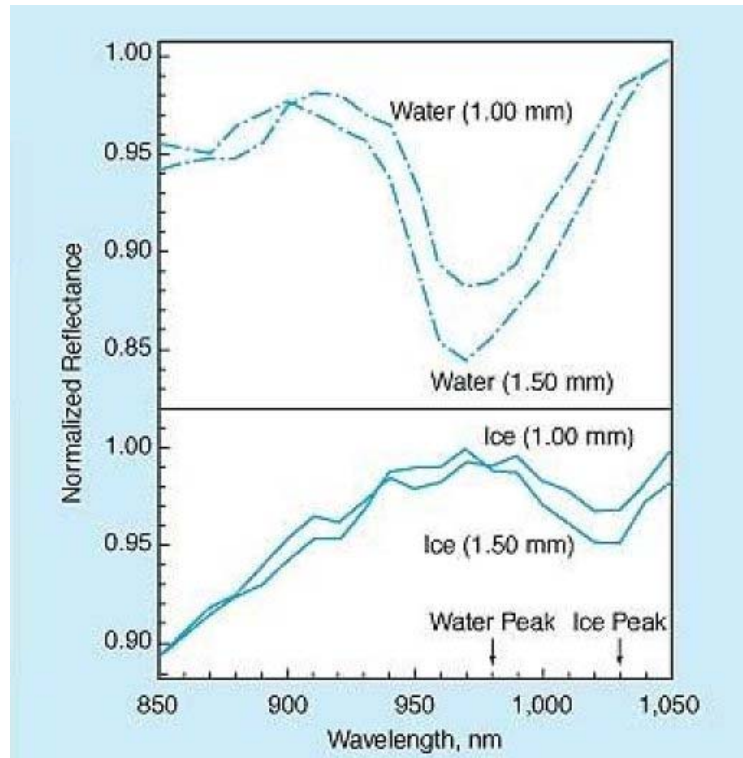


Bild 6.2: Verhältniszahl der spektralen Reflexion [NASA]

Parallel zu dieser theoretischen Analyse sind einige Messungen in einem Labor des HEVs in Sitten durchgeführt worden. Diese sind mit Hilfe eines Spektralfotometers aufgenommen worden. Das Ziel war die beiden Abweichungen (Spitzen) für das Eis und das Wasser zu detektieren. Hierbei war die Referenzfläche auch eine Aluminiumplatte. Vier verschiedene Fälle sind analysiert worden. Diese sind: trockene, mit Wasser überdeckte, mit Eis überdeckte und mit Eis auf die Eis/Wasser-Grenze überdeckte Fläche. In Bild 6.3 sind die Ergebnisse dargestellt. Auf den vier Kurven befinden sich zwei Abweichungen für die Wellenlängen 790 nm und 880 nm. Die maximal gemessene Wellenlänge ist 1020 nm. Somit können die Ergebnisse zwischen „NASA’s Jet Propulsion Laboratory“ und HEVs-Labor nicht gut verglichen werden. Mehrere Messungen müssen noch durchgeführt und normalisiert werden, um eine gute Aussage treffen zu können. Ein weiteres Problem ist, dass sich die beiden Abweichungen auch auf der Kurve der trockenen Fläche befinden. Normalerweise dürften diese gar nicht existieren, da kein Wasser oder Eis die Aluminium-Fläche überdeckt!

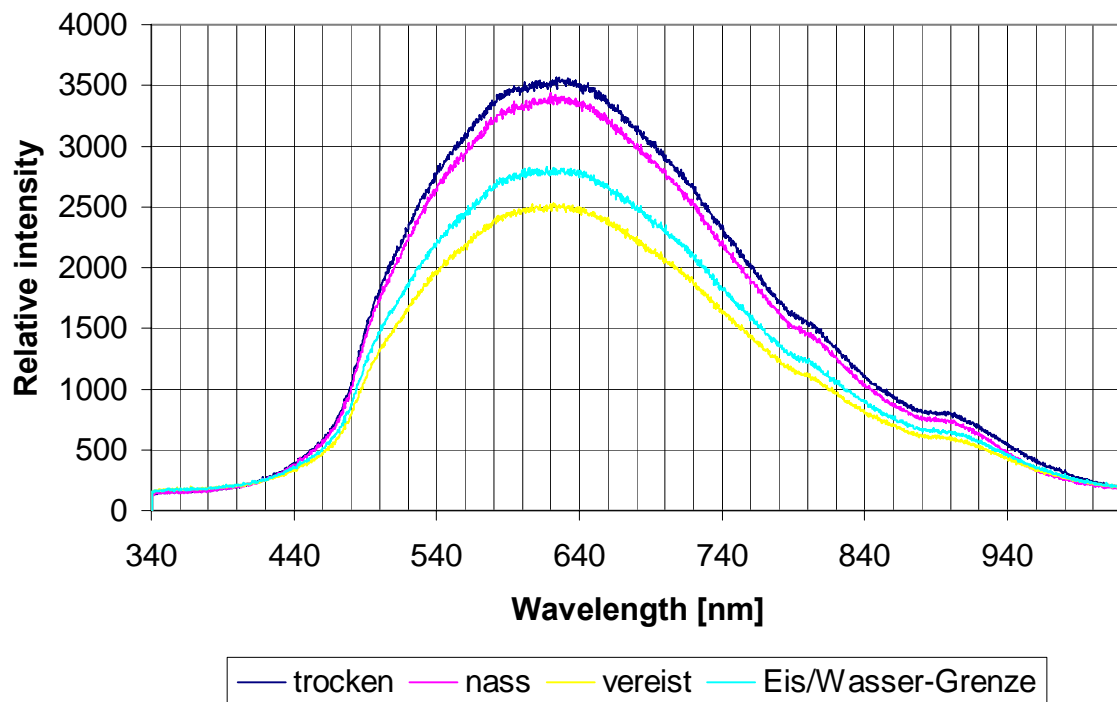


Bild 6.3: spektroskopische Messungen auf Aluminiumfläche

6.3 Optische Filter

Wie in Bild 6.2 dargestellt, müssen die optischen Filter Bandpassfilter sein, um die beiden „Spitzen“ zu detektieren. Im Falle des Wassers muss die Wellenlänge ungefähr zwischen 950 nm und 1000 nm liegen. Für das Eis liegt die Wellenlänge zwischen 1000 nm und 1050 nm. Das Problem hierbei ist aber, dass der Durchlassband der Filter nur 50 nm betragen muss. Für diese Wellenlänge (Infrarot) existieren solche Filter nicht. Theoretisch funktioniert dieses Messprinzip sehr gut, aber dessen praktische Umsetzung ist nicht realisierbar.

Eine alternative Lösung wäre einen Hochpassfilter zu verwenden. Bild 6.4 stellt ein Beispiel dar. Diese Filter werden in Fotografie benutzt, um spezielle Effekte zu erhalten. Das Bild 6.4 stellt zwei verschiedene Möglichkeiten ein Bild aufzunehmen dar. Bild 6.5 a) ist mit einem Standardfotoapparat (Minolta DiMAGE Z1) aufgenommen worden. Bild 6.5 b) ist mit dem gleichen Apparat und einem infraroten Filter aufgenommen worden. Der Filtertyp ist „B&W 093“ von „Bowers & Wilkins“ [BW]. Dieser Filter wird mit einem Glas der Firma „Schott“, aufgebaut. Das ist der RG 830, welcher in Bild 6.4 dargestellt ist.

Es ist schwierig zu sagen, ob das Eis und das Wasser mit diesem infraroten Filter detektiert werden kann. Mit der Theorie kann dies nicht mit Sicherheit bestätigt werden. Dieses Prinzip muss mit mehreren Messungen geprüft werden.

Ein anderes Problem ist der Spektralbereich der Kamera. Diese kann Wellenlängen von 400 nm bis 900 nm messen. Aber die Infrarotstrahlung entspricht einem Wellenlängenbereich von etwa 780 nm bis 1mm. Die Kamera wird daher nur für einen Teil des nahen Infrarotbereichs empfindlich sein. Nur einige Messungen werden Informationen über die Möglichkeiten dieses Prinzip geben.

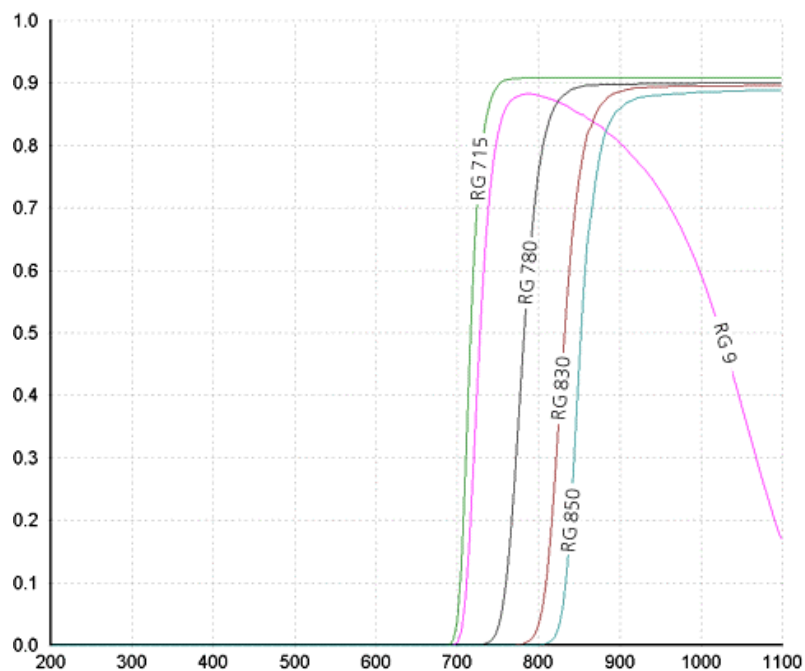


Bild 6.4: Infrarot Filter (RG 830) [SCHO]



a)

b)

Bild 6.5: Infrarot Bild

- a) mit einem Standardfotoapparat aufgenommen
- b) mit einem infraroten Filter aufgenommen

7 Bestimmung einer Beleuchtungsquelle

Nachfolgend wird ein anderes Messprinzip vorgestellt, um ohne optische Filter auszukommen. Die spektroskopische Messung, wie in Kapitel 6 beschrieben, ist praktisch noch schwierig zu realisieren. Für diese Messung muss eine Beleuchtungsquelle bestimmt und verwendet werden.

7.1 Prinzip

In Kapitel 6 ist ein Messprinzip dargestellt worden, das theoretisch gut funktioniert. Das notwendige Material steht aber noch nicht zur Verfügung. So muss vorläufig eine andere Lösung, die nachfolgend beschrieben wird, gefunden werden.

In Bild 7.1 ist ein Bild des Rotorblattes, das von dem COST-Projekt in Andermatt (Schweiz - Wallis) aufgenommen worden ist, dargestellt. Besonders in diesem Bild kann eine helle Eisdicke auf der Kante beobachtet werden (rot markiert). Die Sonnenstrahlen werden vom Rotorblatt reflektiert und in einem bestimmten Winkel in Richtung der Kamera zurückgeworfen. Dann wäre es relativ einfach diesen kritischen Bereich mit einem Bildverarbeitungsprogramm automatisch zu detektieren. Im Labor kann diese Situation mit Hilfe einer Lichtquelle reproduziert werden.

Es wäre interessant zu wissen, ob die Eisdicke mit einer Lichtquelle detektiert werden kann und wie groß der erforderliche Winkel ist.

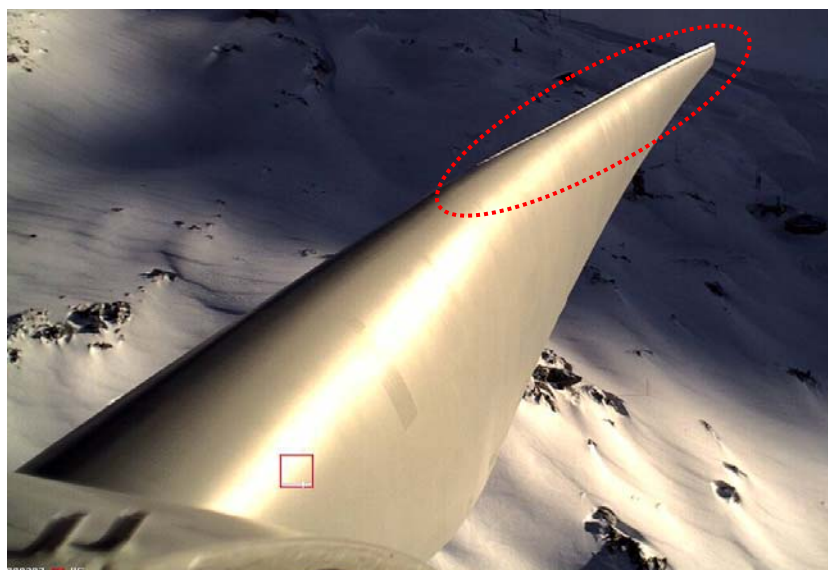


Bild 7.1: helle Eisdicke auf einem Rotorblatt [COST]

7.2 Messung

Die Messungen sind mit einer Kamera (Photonfocus HURRICANE-40-U2) und ohne Filter aufgenommen worden. In Bild 7.2 ist das Messprinzip dargestellt. Ein kleiner Behälter ist mit Wasser gefüllt und in einem Gefrierschrank gestellt worden. Die Lichtquelle wird durch eine Halogenlampe repräsentiert, die mit einer Frequenz von 100 Hz arbeitet.

Die Aufgabe bestand darin einen Winkel, mit welchem die beste Aufnahme aufgenommen werden kann, zu finden.

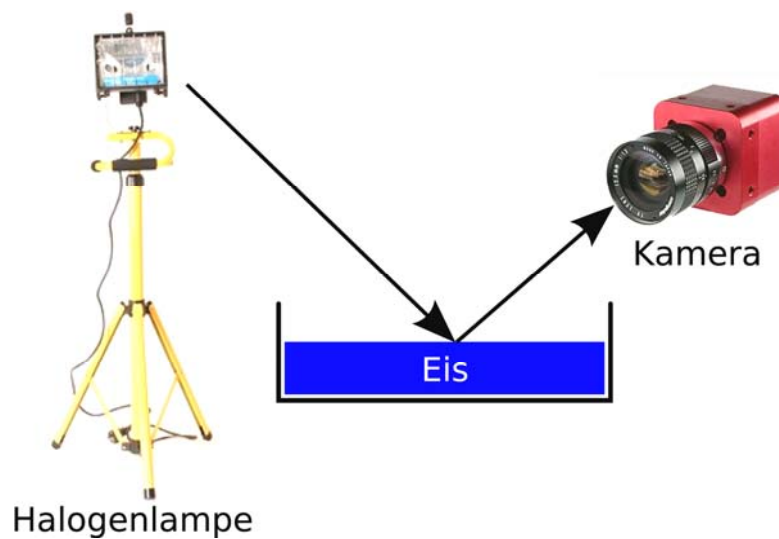


Bild 7.2: Schema des Messprinzips

Die Ergebnisse dieser Messungen werden in Kapitel 9 vorgestellt.

8 Auswahl einer Kamera

Die Kamera, die zu Verfügung stand (Photonfocus HURRICANE-40-U2) [PHO], hat eine Aufnahmegeschwindigkeit, die in Kapitel 8.2 berechnet wird. Diese muss größer als die Blattgeschwindigkeit sein, damit die Messungen korrekt realisiert werden. Nachfolgend werden die maximale Frequenz des Rotorblattes und die maximale Bildfolgefrequenz berechnet.

8.1 Berechnung der maximalen Frequenz des Rotorblattes

Bemerkung: Diese Berechnungen beziehen sich auf für eine Windkraftanlage vom Typ E-70 der Firma Enercon [ENRC].

- Anodendrehzahl: $v = 6$ bis 21.5 tr/min
- Länge des Rotorblattes: $L = 35.5$ m
- Umfang: $u = 2\pi R = 2\pi \cdot 35.5 = 223.05$ m
- Umfangsgeschwindigkeit $= v \cdot u = 5/60$ tr/s $\cdot 223.05 = 79.93$ m/s $= 287.7$ km/h
- Eine Drehung wird in 2.79 Sekunden vollzogen.

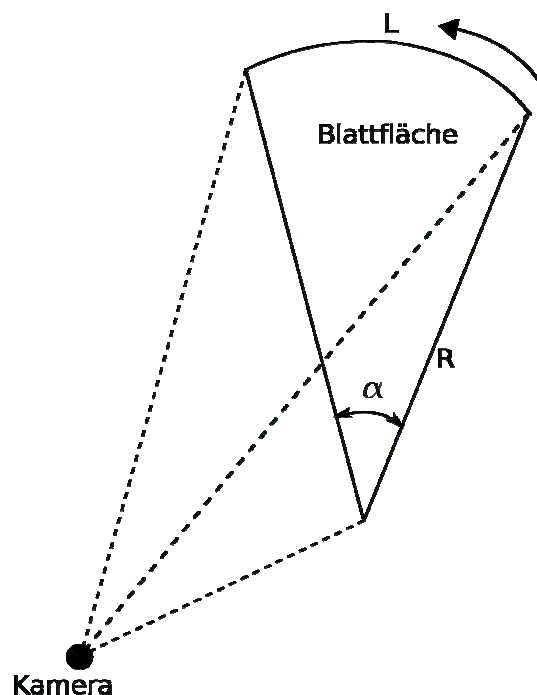


Bild 8.1: Blattrotation

- $L = \alpha \cdot R = \pi/3 \cdot 35.5 = 37.18 \text{ m}$ (mit $\alpha = 60^\circ$)
- Messungszeit: $t = L/v = 37.18/80 = 0.465 \text{ s}$

Die Bildaufnahmen können mit einer Blattwinkelschwankung $\alpha = 60^\circ$ realisiert werden.

8.2 Berechnung der maximalen Bildfolgefrequenz

Für die Kamera Photonfocus HURRICANE-40-U2 [PHO] hängt die Bildfolgefrequenz von 4 Parametern ab. Nachfolgend werden die Variablen definiert und die Frequenz bestimmt.

8.2.1 Variablendeklaration

Die Bildfolgefrequenz hängt von der Belichtungszeit, der Standzeit, dem Interessenbereich und der Bildkorrektur ab.

- Frame rate = $1/\text{Frame time}$
- Frame time = exposure time + read out time + processing time + RAM refresh time

mit:

$$\text{Read out time} = t_u \cdot (\text{MODE} \cdot P_y \cdot (P_x + \text{LP}) + \text{LP})$$

$$\text{Processing time} = T_{\text{normal}} + t_{\text{CFR}} + t_{\text{FPN}} + t_{\text{Skim}}$$

$$\text{RAM refresh time} = 1/128 \cdot (\text{read out time} + 1375\mu\text{s}) - (\text{exposure time} + \text{processing time})$$

mit:

$$t_{\text{Int}} = \text{exposure time} = 10 \text{ ms}$$

$$t_{\text{Normal}} = 1975 \text{ ns latency}$$

$$t_{\text{CFR}} = 850 \text{ ns (nur wenn constant frame rate eingeschaltet wird)}$$

$$t_{\text{Skim}} = 51.125 \mu\text{s (nur wenn Skim mode eingeschaltet wird)}$$

$$t_{\text{FPN}} = 150 \text{ ns (nur wenn correction eingeschaltet wird)}$$

$$t_u = \text{pixel clock} = 25 \text{ ns}$$

$$P_x = \text{number of pixel in x-direction} = 1024$$

P_y = number of pixel in y-direction = 1024

LP = constant line pause = 8 cycles = $8 \cdot 25 \text{ ns} = 200 \text{ ns}$

MODE = 1,2 oder 4 (hier 1)

8.2.2 Frame time-Berechnung

Exposure time = 10 ms

Read out time = $25 \cdot 10^{-9} \cdot (1 \cdot 1024 \cdot (1024 + 200 \cdot 10^{-9}) + 200 \cdot 10^{-9}) = 26.2 \text{ ms}$

Processing time = $1975 \text{ ns} + 850 \text{ ns} + 150 \text{ ns} = 2975 \text{ ns}$

RAM refresh time = $1/128 \cdot (26.2 \cdot 10^{-3} + 1375 \cdot 10^{-6}) - (10 \cdot 10^{-3} + 2975 \cdot 10^{-9}) = -9.8 \text{ ms}$

-> 0 ms

- **Frame time** = exposure time + read out time + processing time + RAM refresh time
 $= 10 \text{ ms} + 26.2 \text{ ms} + 2.975 \text{ us} + 0 = \mathbf{36.3 \text{ ms}}$
- **Frame rate** = $1/\text{Frame time} = 1/36.3 \text{ ms} = \mathbf{27.62}$

8.2.3 Überprüfung

Die Messzeit beträgt 0.465 Sekunden (siehe 8.1). So beträgt die Bildanzahl pro Sekunde $27.62 \cdot 0.465 = 12.84 \rightarrow 12$.

Nur ein oder zwei Bilder sind notwendig. Also passt dieser Kamerateyp für diese Anwendung.

9 Laborversuch und Nachprüfung der Simulationen

Nachfolgend werden die Ergebnisse der Messungen, die in Kapitel 7 erklärt worden sind, dargestellt. Drei verschiedene Messungen sind realisiert worden. Diese sind: Lichtreflexion auf Eis, Lichtreflexion auf Wasser und Erkennung einer Aufhellung an der Blattvorderkante. Die Sättigung der Kamera wird für die Eiserkennung benutzt, so wird in 9.1 eine kleine Erklärung über das Kamerafunktionieren gegeben.

9.1 Sättigung der Bildsensoren

Jeder Silizium-Sensor liefert eine Spannung in Abhängigkeit von der Lichtintensität. Dann wird diese Spannung in einen Grauwert konvertiert. Nachfolgend werden verschiedene Kennlinien des Grauwerts in Abhängigkeit von der Lichtintensität (Bild 9.1) dargestellt.

Die Kamera kann in zwei verschiedenen Betriebsarten funktionieren. Diese sind: lineare oder logarithmische Aufnahme. Für die drei folgenden Messungen ist die logarithmische Betriebsart gewählt worden (rote Linie im Bild 9.1), weil die Lichtintensität der Halogenlampe sehr stark ist.

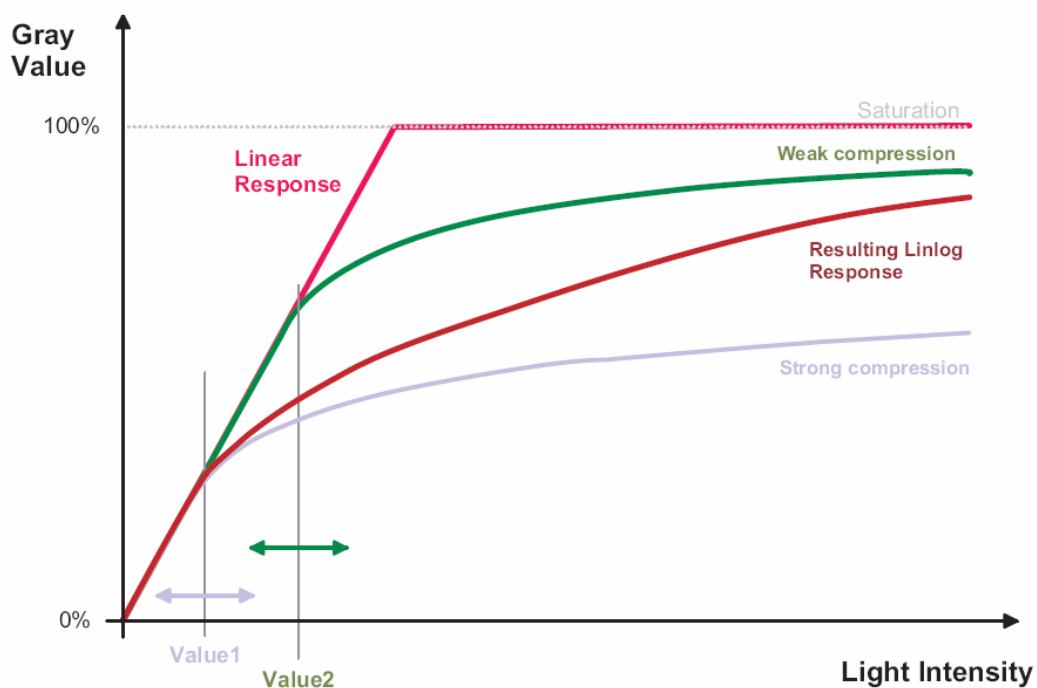


Bild 9.1: Amplitudengang eines Bildsensors [PHO]

Es gibt drei logarithmische Betriebsarten. Diese sind: LinLog1, LinLog2, LinLog3. Für diese Anwendung wird LinLog1 benutzt (siehe Kennlinie im Bild 9.2).

Da das Eis und das Wasser das Licht relativ gut reflektieren, sind die Signalausgaben höher. In diesem Fall liegen die höchsten Werte im Sättigungsbereich. Die Sättigungsinformation bedeutet, dass die Messfläche auf Eis oder Wasser ist.

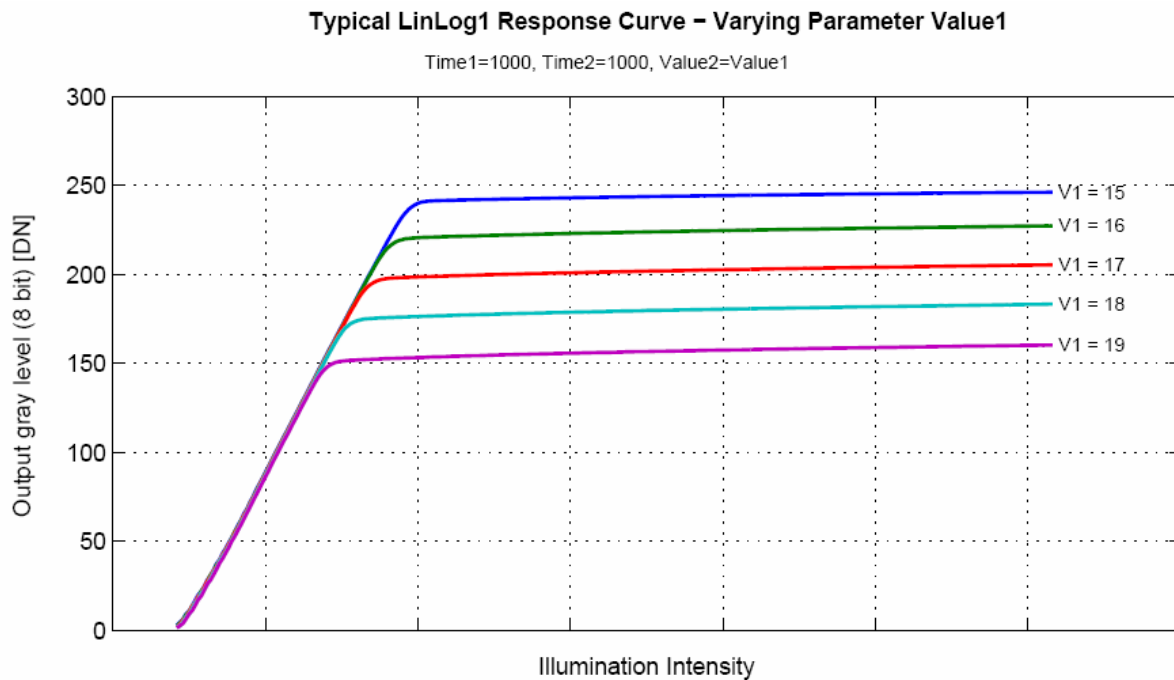


Bild 9.2: LinLog1 Kennlinie mit Variation des Parameters 1 [PHO]

9.2 Lichtreflexion des Eises

Diese Messung ist nach dem Prinzipschaltbild 7.2 (Bild 7.2) realisiert worden. Eine starke Halogenlampe beleuchtet die Eisfläche und die Kamera misst die Lichtreflexion auf der Eisfläche. Die Beleuchtungsdauer beträgt ca. 10 ms und die Blende ist ein wenig geschlossen. Die Messbedingungen sind nicht optimal, weil die Umgebungstemperatur relativ hoch ist (ca. 25°C). Die Fläche vom Eis schmilzt ziemlich schnell, aber die Messung ist trotzdem annehmbar, weil das Bild sehr schnell aufgenommen worden ist.

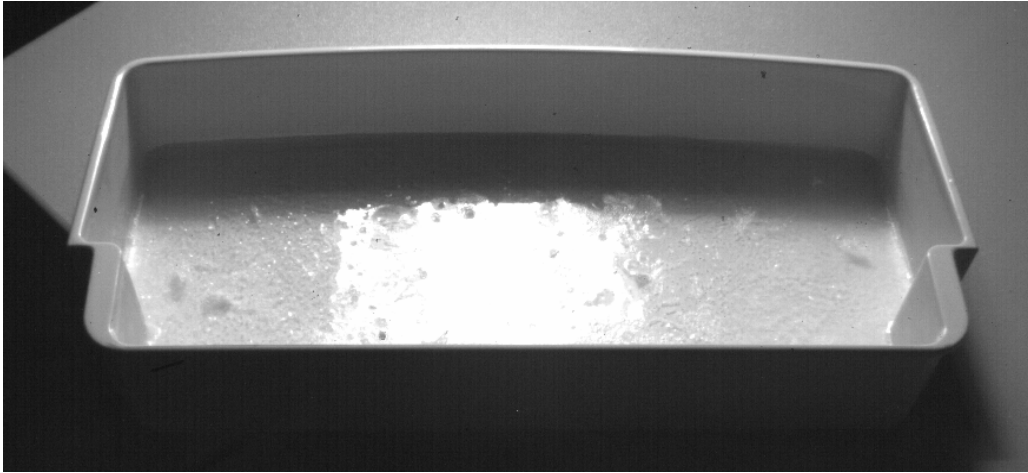


Bild 9.3: Lichtreflexion auf Eis

Der Reflexionsbereich sättigt die entsprechenden Bildsensoren. Mit Hilfe eines Bildverarbeitungsprogramms (Matlab) und dessen „improfile“-Funktion (Anlage J) können diese gesättigten Pixel sehr einfach erkannt werden. Ein Nachteil hierbei ist, dass das Licht nicht auf der ganzen Fläche reflektiert wird. Die Eisfläche müsste ganz flach und die Lichtquelle größer sein. Eine andere Lösung ist die Lichtquelle zu verschieben. An einer Windkraftanlage kann die Rotordrehung die Verschiebung der Lichtquelle ersetzen. Diese Messung zeigt eine sehr einfache Möglichkeit Eis zu detektieren.

Die Kamera Photonfocus HURRICANE-40-U2 [PHO] liefert ein Grauwert-Bild. Ein Pixel kann aus 256 verschiedenen Werten bestehen (0 bis 255). Jeder Wert entspricht einer Farbe. Eine Intensität von 0 bedeutet schwarze Farbe und 255 repräsentiert die weiße Farbe.

Nachfolgend wird eine Messung der Pixelintensität dargestellt. Mit Matlab wird eine Pixellinie (in rot) des Bildes gemessen.

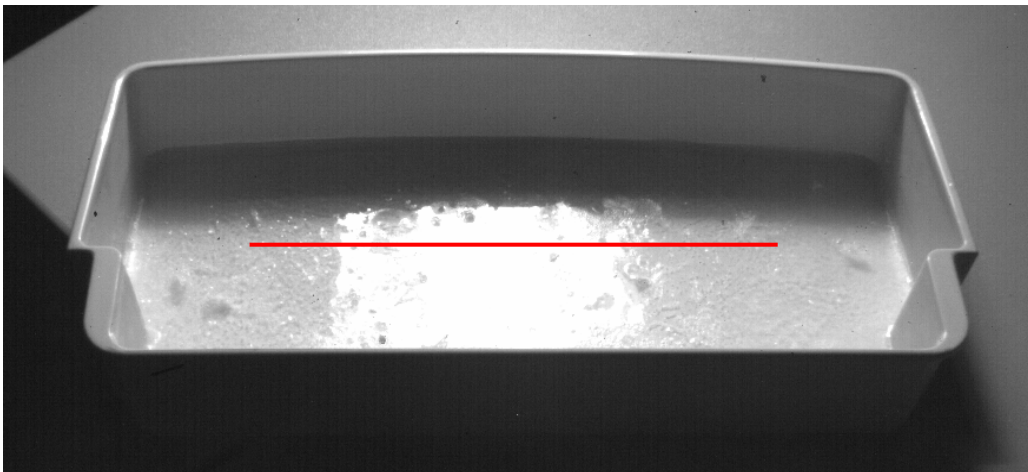


Bild 9.4: Messreihe der Eisreflexion

Die rote Messlinie dringt in den Sättigungsbereich ein. Die Sättigung kann im folgenden Graphen (Bild 9.5) beobachtet werden. Zwischen Pixel n°85 und Pixel n°310 entspricht die Pixelintensität dem Maximum (255).

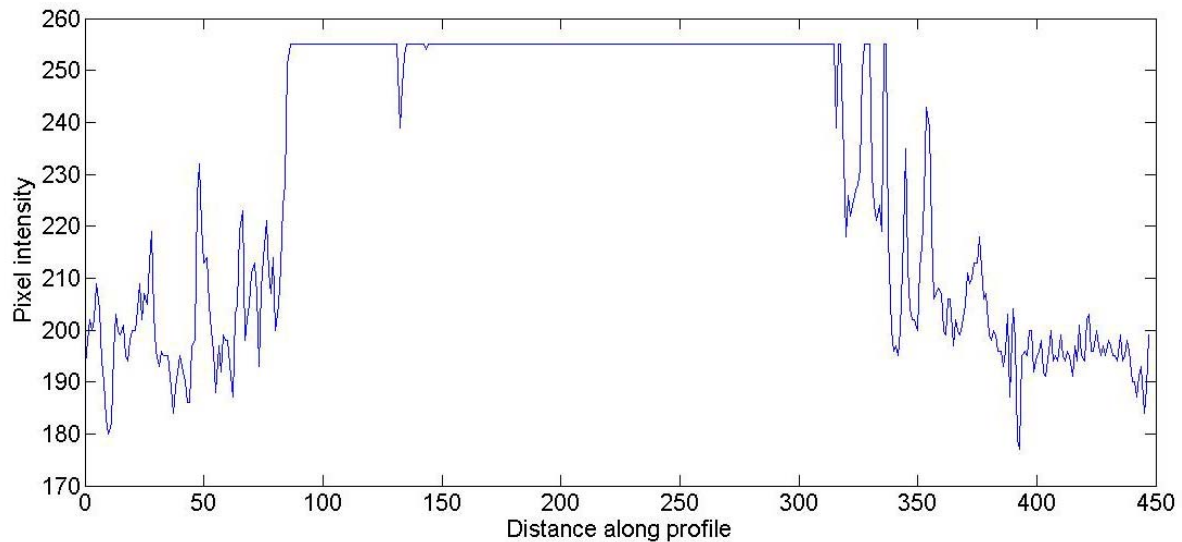


Bild 9.5: Pixelintensität für die Eisreflexion

9.3 Lichtreflexion des Wassers

Diese Messung ist auch nach dem Prinzipschaltbild 7.2 (Bild 7.2) realisiert worden. Der einzige Unterschied ist, dass das Wasser anstatt vom Eis verwendet wurde.

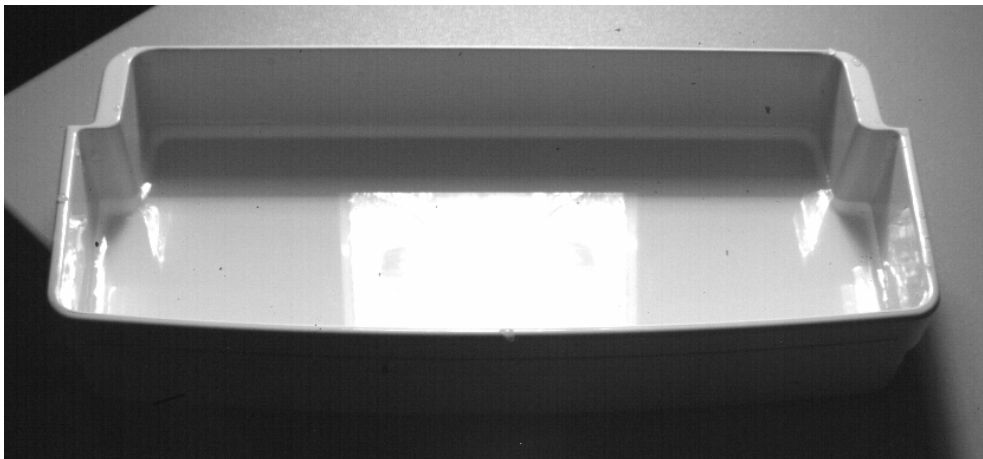


Bild 9.6: Lichtreflexion auf Wasser

Hierbei wird das Licht auch nicht auf der ganzen Fläche reflektiert. Die Fläche ist aber ganz flach. Die Lichtquelle war sicher zu nah von dem Testabschnitt.

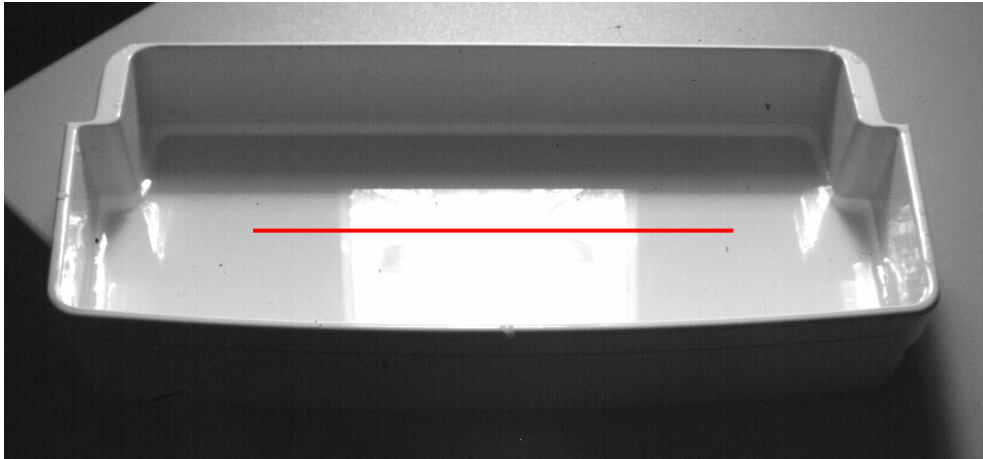


Bild 9.7: Messreihe der Wasserreflexion

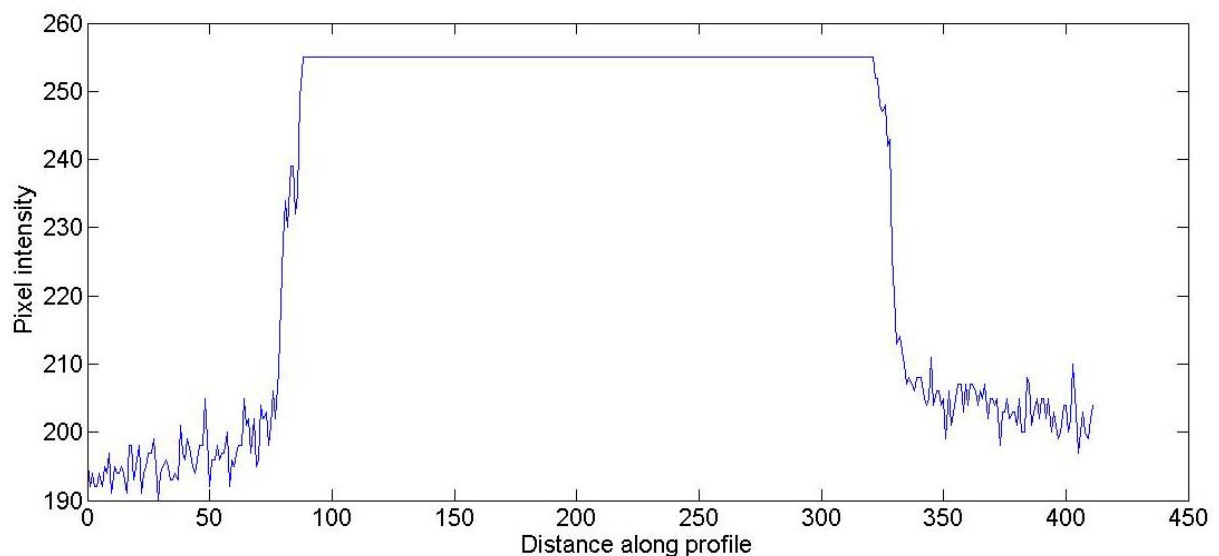


Bild 9.8: Pixelintensität für die Wasserreflexion

Die Messungen mit dem Eis und dem Wasser liefern fast die gleichen Ergebnisse. Die Messlinie des Wassers bestand aus weniger Störungen, da das Eis Verunreinigungen enthielt.

Das Bild 9.9 ist mit einer Webcam aufgenommen worden. In diesem Bild befindet sich ein Sättigungsbereich. Die Lichtstrahlen werden direkt auf vom Blatt reflektiert und nicht vom Eis oder vom Wasser. Das kann ein großes Problem sein!



Bild 9.9: Lichtreflexion auf Rotorblatt [COST]

9.4 Erkennung einer Aufhellung an der Blattkante

Für diese Messung ist der Testabschnitt unterschiedlich. Eis befindet sich auf einem plastischen Rohr, welcher mit schwarzen Klebestreifen überdeckt wird. Das Eis ist aber nicht natürlich entstanden. Es ist mit Hilfe eines Kältesprays (Anlage G) und des Wasser hergestellt worden. Normalerweise wird dieses Spray für thermische Fehlersuche an elektronischen Bauteilen, Prüfung von Thermostaten, usw. benutzt. Das hergestellte Eis ist zwar weiß wie Schnee aber nicht durchsichtig. Dies stellt einen Nachteil für diese Anwendung dar, da das Licht dieses Eis nur schwer durchdringen kann (siehe Bild 9.10).

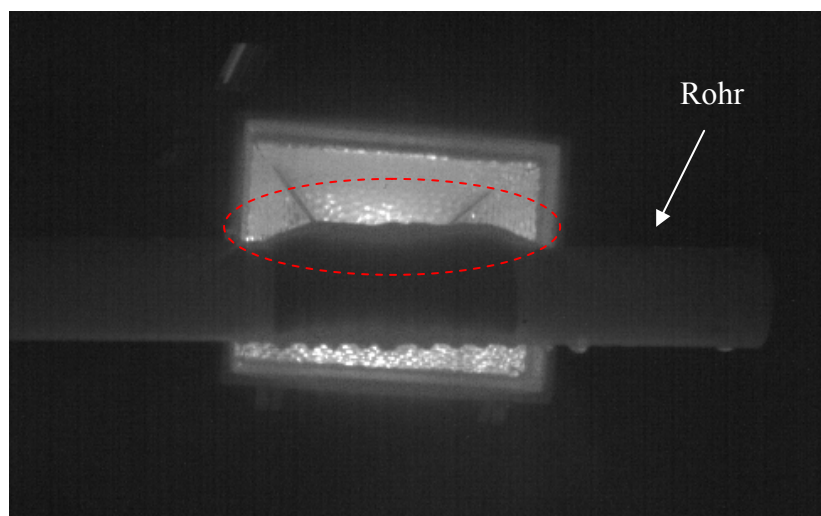


Bild 9.10: Aufhellung des Eis

Die Ergebnisse sind entsprechend nicht gut ausgefallen. Mit klarem und transparentem Eis wären diese besser. Das Eis diffundiert das Licht und so gibt es eine Aufhellung. Es ist aber wichtig auch mit weißem Eis zu arbeiten. Der in Bild 9.11 dargestellte Fall zeigt ein Rotorblatt mit einem sehr weißen und lichtundurchlässigen Eis.

Die benutzte Lichtquelle für diese Messungen ist sehr stark (Halogenlampe) und trotzdem ist die Aufhellung schwierig zu beobachten.

Sicherlich funktioniert dieses Messprinzip sehr gut mit klarem Eis aber die Ergebnisse sind mit weißem Eis nicht beweiskräftig.

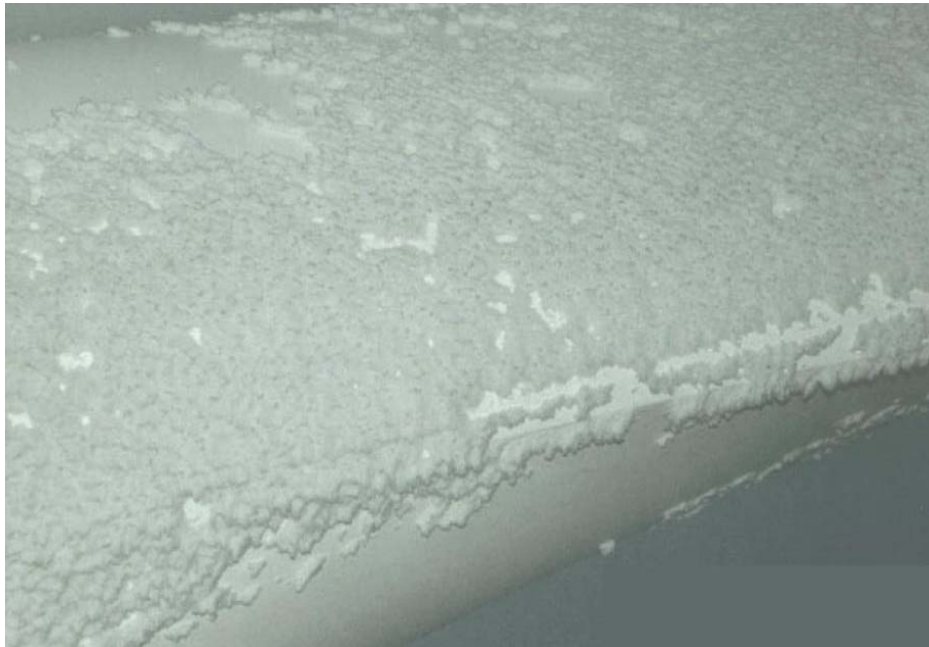


Bild 9.11: vereiste Blattkante (Schnee)

9.5 Fazit

Das Lichtreflexionsmessprinzip (siehe 9.2 und 9.3) ist eine sehr einfache Lösung für die Erkennung der Vereisung. An Windkraftanlagen muss die Lichtquelle sehr stark sein, weil ein Rotorblatt eine Länge bis 35 Meter haben kann.

Der Unterschied zwischen der Lichtreflexion auf dem benutzten Testabschnitt und auf einem Rotorblatt (weißer Kunststoff) muss noch verglichen werden. Der weiße Kunststoff reflektiert das Licht ungefähr gleich gut wie das Eis und das Wasser (siehe Bild 9.9). Also kann es schwierig sein, Eis oder Wasser von weißem Kunststoff zu unterscheiden. Nachts gibt es

normalerweise keine Probleme mit Lichtstörungen. Aber wenn die Sonne scheint, können deren Strahlen von den Rotorblättern reflektiert werden.

Die Erkennung einer Aufhellung an der Blattkante mit weißem Eis ist zu schwierig an eine Windkraftanlage anzupassen. Um eine Aufhellung zu erhalten, ist eine sehr starke Lichtquelle notwendig. Demzufolge muss die Belichtungsdauer erheblich verringert werden.

10 Bildverarbeitung und Anzeige der vereisten Fläche

Die Ergebnisse der Messungen, welche in Kapitel 9 vorgestellt wurden (Bild 9.3 und Bild 9.4), werden anschließend mit einem Bildverarbeitungsprogramm verarbeitet, um die kritischen Bereiche festzustellen.

In Bild 10.1 werden die Sättigungspixel durch schwarzen Bereich festgestellt. Diese entsprechen einem Grauwert von 255. Alle diese Pixel (340'288 Pixel für das Bild 10.1) werden geprüft und mit einem Matlab-Programm (Anlage I) markiert und in schwarz gefärbt. So können die kritischen Bereiche an einem Anzeigedisplay sofort bemerkt werden. Ein Alarm kann auch einfach mit dem Matlab- und einem C-Programm eingeschaltet werden.

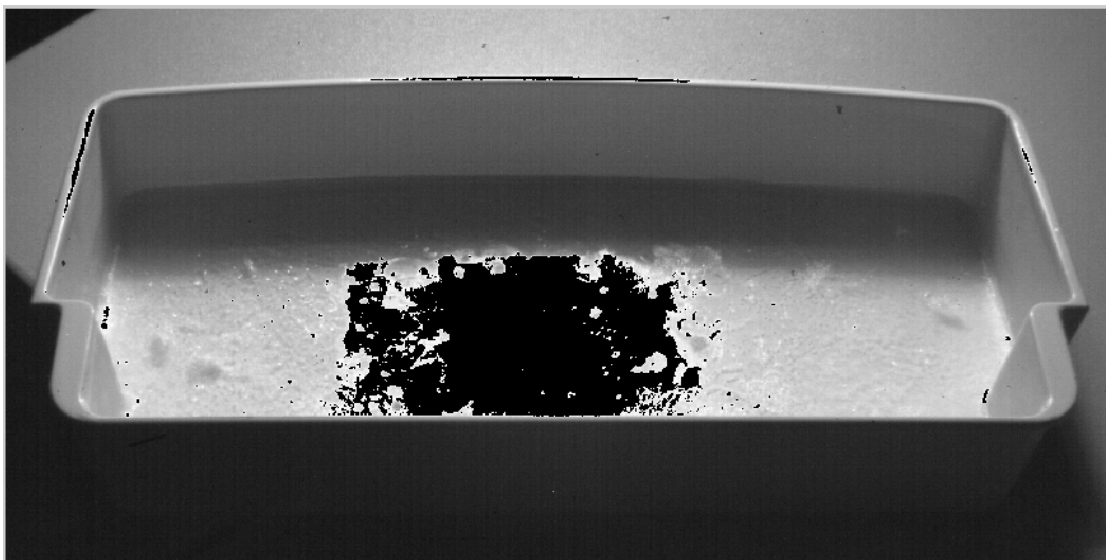


Bild 10.1: Bildverarbeitung

Die Lichtquelle, die Belichtungsdauer und die Blende der Kamera müssen geregelt werden, damit die Sättigungspixel genau der Eis- oder Wasserfläche und nicht einem anderen Stoff entspricht.

11 Zusammenfassung

Der Eisansatz auf Windkraftanlagen und auf anderen Betriebsmitteln (Hochspannungsleitungen, Transportmitteln) stellt ein erhebliches Problem für die Sicherheit und das einwandfreie Funktionieren der Windkraftanlagen dar. Die aktuellen Sensoren, um das Eis zu detektieren oder zu messen, sind nicht verlässlich genug und zudem auch relativ teuer. Im Rahmen dieser Arbeit wurde in Kooperation zwischen der HEVs und der FH-SWF ein neues Messsystem basierend auf einem kontaktlosen, bildgebenden Sensor entwickelt. Das System besteht aus einer Kamera, zwei optischen Filtern, einer Beleuchtungsquelle und einem Bildverarbeitungsprogramm (Matlab 7.1). Der Vorteil besteht darin, dass ein Bild vom ganzen Blatt und nicht eine punktuelle Messung erhalten wird. Das besteht in der Aufnahme eines Bildes des ganzen Rotorblattes und dann die vereiste Bereiche zu feststellen.

Das System benutzt eine schwarzweiße Kamera [PHO] und zwei verschiedene optische Filter, um mit zwei Wellenlängen zu arbeiten. Für eine genaue Wellenlänge ist der Reflexionsgrad des Wassers kleiner und für eine andere ist der Reflexionsgrad vom Eis kleiner (Bild 6.2). Mit jedem Filter kann ein Wasserstand festgestellt werden. Bei einem Vergleich der zwei Bilder kann das Eis und das Wasser voneinander unterschieden werden. Ein Bild wird von der Kamera ausgegeben und in das Bildverarbeitungsprogramm eingegeben. Mit diesem Programm kann der kritische Bereich zum Beispiel mit einer andere Farbe feststellen werden. Bei einer Identifizierung des Eises auf der Rotorblattfläche wird die Anlage angehalten oder mit einem Heizungssystem enteist.

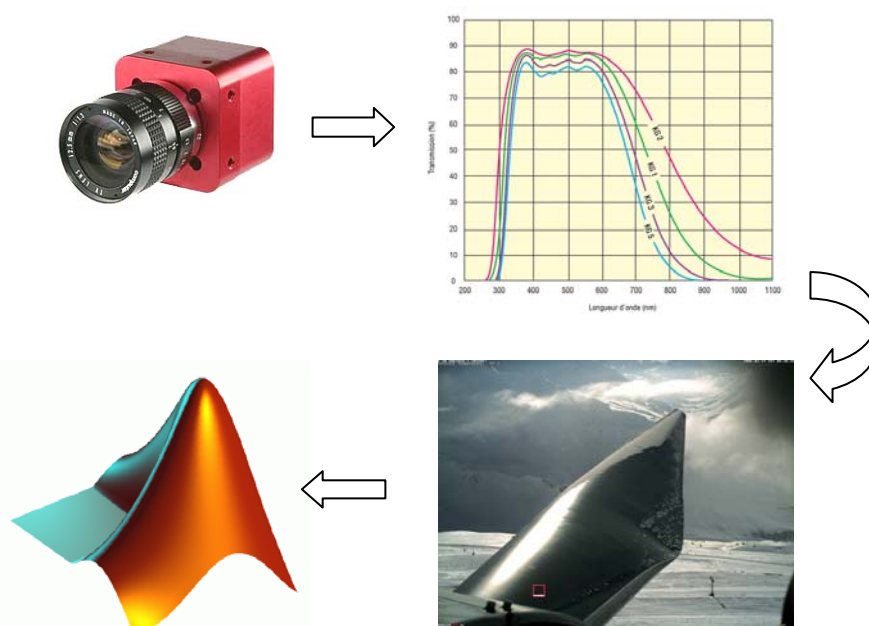


Bild 11.1: Prinzip der Messung

12 Abschluss

Die Reflexionsgradmessung, welche schon in der Arbeit [RICH] theoretisch analysiert worden ist, wurde in dieser Diplomarbeit weiterführend untersucht. Das physikalische Prinzip ist noch detaillierter analysiert worden und hat wichtige Informationen ergeben. Der Unterschied zwischen den spektroskopischen Charakteristiken des Eises und des Wassers kann nicht nur mit klassischen optischen Filtern erschlossen werden. Die klassischen Bandpassfilter sind nicht selektiv genug. Der „NASA’s Jet Propulsion Laboratory“ [NASA] hat gute Ergebnisse erhalten, aber mit einem speziellem Filter (band-pass liquid-crystal tunable filter, LCTF), der sehr selektiv ist.

Aufgrund dieses Problems sind zwei andere Lösungen analysiert worden. Die erste benutzt auch das Prinzip der Reflexion aber nicht in Abhängigkeit von der Wellenlänge. Die Reflexionslichtintensität auf Eis oder Wasser ist groß und sättigt die Bildsensoren der Kamera. Diese Information gestattet eine vereiste oder nasse Fläche zu erkennen. Hierbei gibt es auch einen Nachteil: die weißen Rotorblattflächen reflektieren auch relativ gut die Lichtstrahlen.

Das zweite Verfahren ist die Erkennung einer Aufhellung an der Blattkante. Dieses Erkennungsprinzip funktioniert ziemlich gut mit klarem Eis aber nicht mit weißem Eis oder Schnee.

Die spektroskopische Messung stellt die sicherste Lösung zur Eiserkennung dar, aber hierfür muss noch ein geeignetes Filtersystem entwickelt werden. Da der Durchlassbereich sehr schmal ist, muss der Filter sehr präzise und selektiv arbeiten.

13 Dankeschön

Ich bedanke den Personen, die zu meiner Diplomarbeit beitragen haben:

- Herrn Prof. Dr.-Ing. Egon Ortjohann von der FH-SWF für seine Ratschläge, seine Hilfe und seine Erfahrung während des Projekts
- Herrn Prof. Dr.-Ing. Joseph Moerschell von der HEVs für seine Hilfe und seine Erfahrung in Messtechnik und Optik
- Herrn Dipl.-Ing. Nedzad Hamsic von der FH-SWF für die Korrektur meines Berichts
- Den Mitarbeiter des FH-SWF für deren Hilfe
- Frau Sabine Mahlstedt für ihre Verfügbarkeit und die Organisation der Reise nach Deutschland
- Büro MOVE für die Organisation der Reise nach Deutschland

14 Literaturverzeichnis

[RICH] RICHARD C., Projet de semestre: Mesure de dépôt de glace, Juin 2006

[COST] Alpine Test Site Gütsch: Meteorological measurements and wind turbine performance analysis, <http://www.meteotest.ch/cost727/index.html>

[RHINO] 3D-Modellier-Werkzeuge für Designer & Konstrukteure, <http://www.rhino3d.de>

[ENERTRAG] Enertrag Aktiengesellschaft, <http://www.enertrag.com>

[WIKI] Wikipedia, die freie Enzyklopädie, <http://de.wikipedia.org>

[RAY] Raytrace, low-cost, high powered optical design and education software, <http://ibv-thinfilms.de/imraytrd.htm>

[CAN] Canon, Tilt- und Shiftobjektiv, <http://www.canon.de>

[NASA] NASA's Jet Propulsion Laboratory, Optical Remote Detection of Ice on Aircraft Surfaces, <http://www.nasatech.com/Briefs/Sept98/NPO19929.html>

[SCHO] Schott, optische Glasfilter, http://www.pgo-online.com/de/katalog/schott_filter.html

[BW] Bowers & Wilkins Filter, <http://www.schneiderkreuznach.com/produkte.htm>

- [PHO] Photonfocus, CMOS-Bildsensoren, <http://www.photonfocus.com/indexDe.php>
- [WEP] Technical Research Centre of Finland, Wind Energy Projects in Cold Climates, 1. Edition 2005
- [SWE] International Energy Agency, IEA R&D Wind, State-of-the-art of wind energy in cold climates, April 2003
- [TWIND] Tauernwind Windkraftanlagen GmbH, <http://www.tauernwind.com>
- [ENRC] Enercon GmbH, <http://www.enercon.de>

15 Abbildungsverzeichnis

Bild 1.1: WKA [TWIND]	1
Bild 1.2: Frosttage in Europa	3
Bild 3.1: Prinzip der Reflexionsgrad-Messung	7
Bild 3.2: Zwei physikalische Prinzipien, in [RICH] behandelt.....	8
Bild 4.1: 3D-Modellierung des Rotorblattes	10
Bild 4.2: Vereiste Rotorblätter in Andermatt (Schweiz) [COST]	11
Bild 4.3: Vereistes Rotorblatt [ENERTRAG].....	11
Bild 4.4: 3D-Koordinatensystem	12
Bild 4.5: Parameter der Koordinaten.....	13
Bild 4.6: Berechnung der Koordinaten (Auszug der Anlage B)	16
Bild 4.7: Simulationssequenzen der Blattdrehung (Beispiel)	16
Bild 4.8: Simulationssequenz n°118 – Bild 16	18
Bild 4.9: Simulationssequenz n°118 – Bild 25	19
Bild 5.1: Scharfeinstellung der Kamera	20
Bild 5.2: Scharfeinstellung [WIKI]	21
Bild 5.3: Scheimpflug-Regel [WIKI].....	22
Bild 5.4: Zweite Bedingung für ein scharfes Bild [WIKI].....	23
Bild 5.5: Simulation der Scheimpflug-Regel (raytrace) [RAY]	23

Bild 5.6: Die TS-E 24 mm f/3.5L Objektiv von Canon [CAN]	24
Bild 5.7: Shift-Objektiv	24
Bild 5.8: Berechnung des Scheimpflug-Winkels	25
Bild 5.9: Entfernung der Kamera	26
Bild 6.1: Reflexionsgrad	28
Bild 6.2: Verhältniszahl der spektralen Reflexion [NASA]	30
Bild 6.3: spektroskopische Messungen auf Aluminiumfläche	31
Bild 6.4: Infrarot Filter (RG 830) [SCHO]	32
Bild 6.5: Infrarot Bild	32
Bild 7.1: helle Eisdicke auf einem Rotorblatt [COST]	33
Bild 7.2: Schema des Messprinzips	34
Bild 8.1: Blattdrehung	35
Bild 9.1: Amplitudengang eines Bildsensors [PHO]	38
Bild 9.2: LinLog1 Kennlinie mit Variation des Parameters 1 [PHO]	39
Bild 9.3: Lichtreflexion auf Eis	40
Bild 9.4: Messreihe der Eisreflexion	40
Bild 9.5: Pixelintensität für die Eisreflexion	41
Bild 9.6: Lichtreflexion auf Wasser	41
Bild 9.7: Messreihe der Wasserreflexion	42
Bild 9.8: Pixelintensität für die Wasserreflexion	42
Bild 9.9: Lichtreflexion auf Rotorblatt [COST]	43
Bild 9.10: Aufhellung des Eis	43
Bild 9.11: vereiste Blattkante (Schnee)	44
Bild 10.1: Bildverarbeitung	46
Bild 11.1: Prinzip der Messung	47

16 Tabellenverzeichnis

Tabelle 1.1: Jahresenergieverlust einer WKA in Abhängigkeit von Frosttagen.....	2
---	---

17 Anlagenverzeichnis

A:	Zusammenfassung von: "Alpine Test Site Guetsch: Meteorological measurements and wind turbine performance analysis"
B:	Rechnung der Koordinaten (Excel)
C:	1) Simulationssequenz 56
	2) Simulationssequenz 77
	3) Simulationssequenz 98
	4) Simulationssequenz 118
	5) Simulationssequenz 133
D:	Simulation 118 Bild 16
E:	Simulation 116 Bild 25
F:	Baupläne des Rotorblattes
G:	Technisches Merkblatt des Kältesprays
H:	Datasheet Kamera Photonfocus HURRICANE/THUNDER SERIES
I:	Matlab-Programm für die gesättigten Pixel Erkennung
J:	Image Processing Toolbox User's Guide: improfile-Funktion
K:	Datasheet des COSMICAR/PENTAX-Objektives

Alpine Test Site Guetsch: Meteorological measurements and wind turbine performance analysis

COST 727 Measuring and forecasting atmospheric icing on structures

Météo Suisse, Payerne / *METEOTEST* Bern / <http://www.meteotest.ch/cost727/index.html>

Project Summary

There is worldwide an increasing demand for accurate information on icing in cold climate and mountainous regions mainly to fulfill the growing needs of meteorological information for various human activities, such as construction, recreation and utilization of natural resources, in particular of wind energy.

The submitted project "Alpine Test Site Guetsch: Meteorological measurements and wind turbine performance analysis" will expand the knowledge base on atmospheric icing specifically in the alps. It fits into an international comparison network and will allow for comprehensive testing and improvement of monitoring equipment.

The project covers mainly the objectives of Working Group 2 of the COST 727 action. Some topics cover as well issues of Working Groups 1 and 3:

1.
Evaluate ice detecting devices in the real alpine atmospheric conditions by comparison of existing commercial and newly developed ice detectors of various types in the winter periods 2005/6, 2006/7 and 2007/2008.
2.
Monitor the behavior of the wind power generator Enercon E-40 installed at the Gütsch site in icing conditions by EWU (Elektrizitätswerk Ursern). As the EWU plans to expand the power generation and as the site is the highest production and test site for large wind generators in the alps, the objective has a significance for the whole alpine space.
4.
Set up tools and recommendations for estimating icing conditions at standard meteorological stations not equipped with ice detectors.
5.
Set up guidance in meteorological measurements and modelling to fulfil the needs of the industry (traffic, power transmission, wind energy) – especially for alpine sites in Switzerland.

It is foreseen, that there will be actions (COST meeting, workshops on icing, workshops on wind energy in the alpine space) coupled with the presented project and organized in connection with the test site Guetsch (e.g. at Andermatt).

The research plan contains the following elements

Upgrade the existing meteorological station Guetsch as test station for ice detector testing. Guetsch is a synoptic station of MeteoSwiss developed in 2003/2004 in the context of the new meteorological network SwissMetNet. It is already equipped with a large variety of high quality sensors and will allow to monitor precisely the atmospheric conditions. Upgrading the station with (to be developed) devices to measure liquid water content and drop size distribution at least during some phases of the project will give a complete picture of the atmospheric icing conditions.

A large variety of icing sensors to detect periods and amount of ice accretion will be installed and monitored. The sensors work on very different physical principles as weighting of the ice mass, change of reflectivity of the surface on which ice accretion occurs, IR detection of ice films, etc.. The evaluation of the experimental data will give feedbacks on the suitability of the different principles under real conditions and for different applications and purposes.

The combination of a comprehensive meteorological monitoring on the site and the detection of icing will help to establish a better understanding and modelling of the icing processes. This will allow to develop the algorithms to calculate and map the risk of icing in the alpine space.

Comprehensive monitoring of the icing on the highest located large wind turbine will allow to better understand demands for standard ice sensors to be integrated on turbines. Automatic icing sensors, indirect measurements (loss of power production, unbalance of the rotor) and optical control by cameras and image processing will be combined.

The main topic of the research plan is to carry out a comprehensive experimental study under the specific conditions of one of the high mountain areas in the world with most human activities - the Alps.

Rechnung der Kamera- und Bildpunktposition

Parameters zu variieren:

- 1 Position der Kamera auf der Beobachtungsebene (Winkel) [°]
- 2 Radius der Beobachtungsebene [mm]
- 3 Neigungswinkel der Kamera (hängt von der vertikale Position der Zielscheibe ab) [mm]
- 4 Vertikale Position der Kamera/der Beobachtungsebene [cm] (Ursprung: die Nabe)
- 5 Blattverstellwinkel [°] (70% der Länge -> 0°)
- 6 Blattdrehwinkel [°] (0° -> das Blatt und die Kamera sind parallel)

Ziel: die Koordinaten x, y und z für jede Variation finden.

Parameters						Kamera [mm]						Neigungswinkel der Kamera		
												x-z Ebene	y-z Ebene	Im Vergleich zu z-Achse
1	2	3	4	5	6	x1	y1	z1	x2	y2	z2	β	γ	θ
150	300	1480	-300	0	0	-259.81	150	-300	0	0	1480	8.30	-4.82	9.57

Animation

```

1 100 1480 0
2 100 1480 -100
3 100 1480 -200
4 100 1480 -400
5 100 1480 -600
6 100 1000 0
7 100 1000 -100
8 100 1000 -200
9 100 1000 -400
10 100 1000 -600
11 100 700 0
12 100 700 -100
13 100 700 -200
14 100 700 -400
15 100 700 -600
16 100 500 0
17 100 500 -100
18 100 500 -200
19 100 500 -400
20 100 500 -600
21 200 1480 0
22 200 1480 -100
23 200 1480 -200
24 200 1480 -400
25 200 1480 -600
26 200 1000 0
27 200 1000 -100
28 200 1000 -200
29 200 1000 -400
30 200 1000 -600
31 200 700 0
32 200 700 -100
33 200 700 -200
34 200 700 -400

```

Feuille1

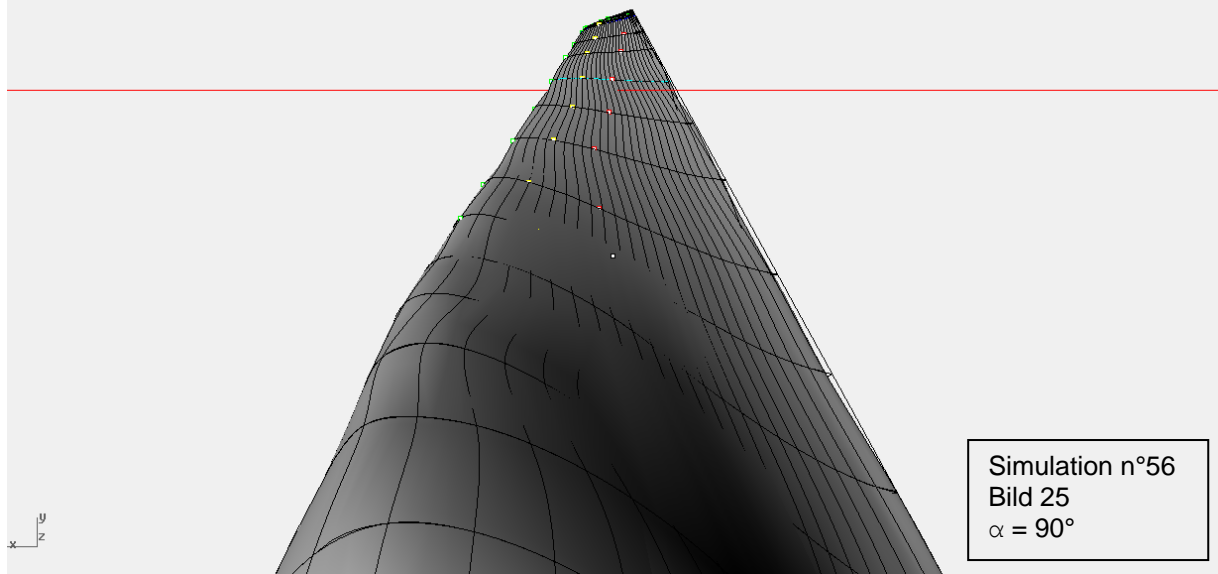
35	200	700	-600
36	200	500	0
37	200	500	-100
38	200	500	-200
39	200	500	-400
40	200	500	-600
41	300	1480	0
42	300	1480	-100
43	300	1480	-200
44	300	1480	-400
45	300	1480	-600
46	300	1000	0
47	300	1000	-100
48	300	1000	-200
49	300	1000	-400
50	300	1000	-600
51	300	700	0
52	300	700	-100
53	300	700	-200
54	300	700	-400
55	300	700	-600
56	300	500	0 GUT!
57	300	500	-100
58	300	500	-200
59	300	500	-400
60	300	500	-600
61	400	1480	0
62	400	1480	-100
63	400	1480	-200
64	400	1480	-400
65	400	1480	-600
66	400	1000	0
67	400	1000	-100
68	400	1000	-200
69	400	1000	-400
70	400	1000	-600
71	400	700	0
72	400	700	-100
73	400	700	-200
74	400	700	-400
75	400	700	-600
76	400	500	0
77	400	500	-100 GUT!
78	400	500	-200 GUT!
79	400	500	-400
80	400	500	-600
81	500	1480	0
82	500	1480	-100
83	500	1480	-200
84	500	1480	-400
85	500	1480	-600
86	500	1000	0
87	500	1000	-100
88	500	1000	-200
89	500	1000	-400

Feuille1

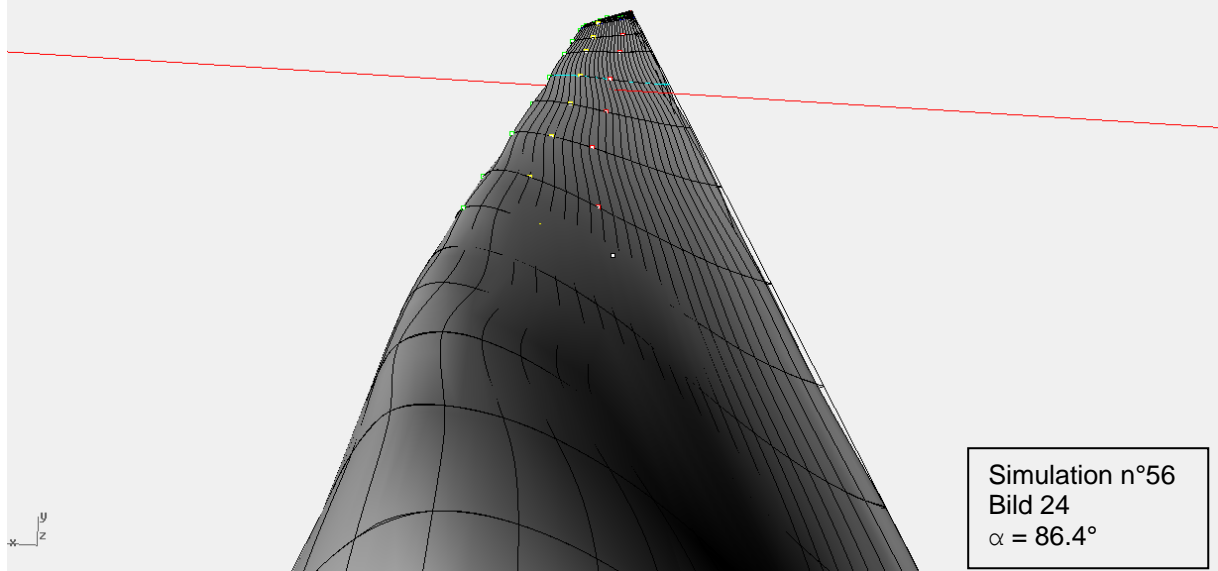
90	500	1000	-600
91	500	700	0
92	500	700	-100
93	500	700	-200
94	500	700	-400
95	500	700	-600
96	500	500	0
97	500	500	-100
98	500	500	-200 GUT!
99	500	500	-400
100	500	500	-600
101	600	1480	0
102	600	1480	-100
103	600	1480	-200
104	600	1480	-400
105	600	1480	-600
106	600	1000	0
107	600	1000	-100
108	600	1000	-200
109	600	1000	-400
110	600	1000	-600
111	600	700	0
112	600	700	-100
113	600	700	-200
114	600	700	-400
115	600	700	-600
116	600	500	0
117	600	500	-100
118	600	500	-200 GUT!
119	600	500	-400
120	600	500	-600
121	700	1480	0
122	700	1480	-100
123	700	1480	-200
124	700	1480	-400
125	700	1480	-600
126	700	1000	0
127	700	1000	-100
128	700	1000	-200
129	700	1000	-400
130	700	1000	-600
131	700	700	0
132	700	700	-100
133	700	700	-200 GUT!
134	700	700	-400
135	700	700	-600
136	700	500	0
137	700	500	-100
138	700	500	-200
139	700	500	-400 GUT!
140	700	500	-600

7 Simulationssequenzen

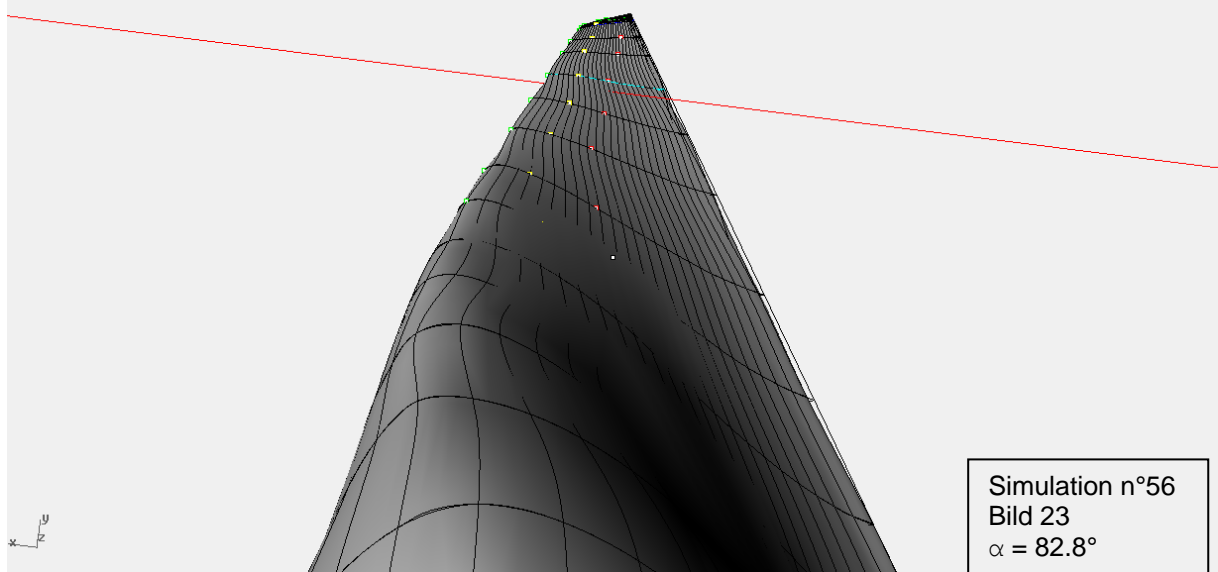
Perspective



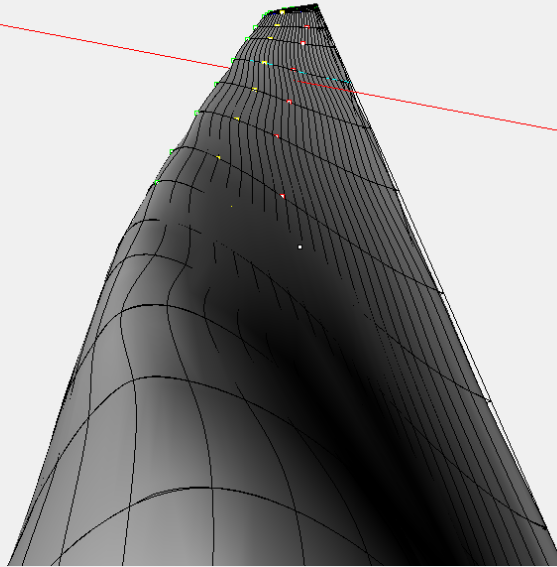
Perspective



Perspective

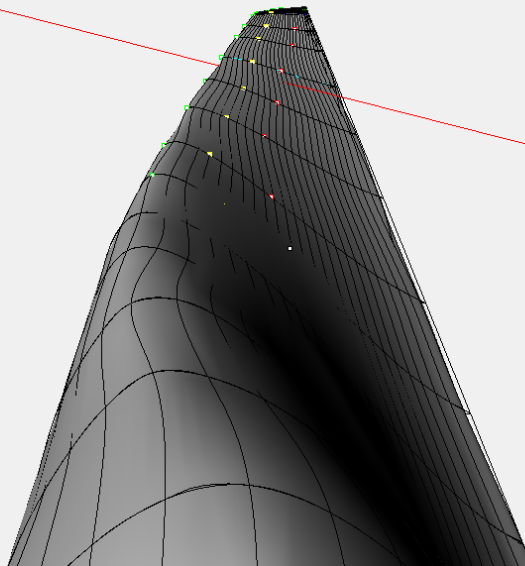


Perspective



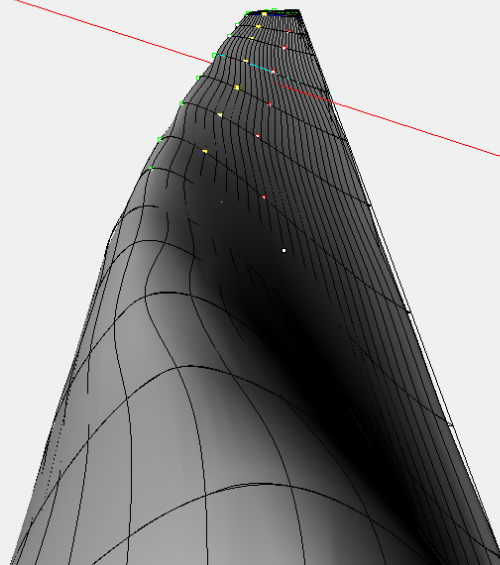
Simulation n°56
Bild 22
 $\alpha = 79.2^\circ$

Perspective



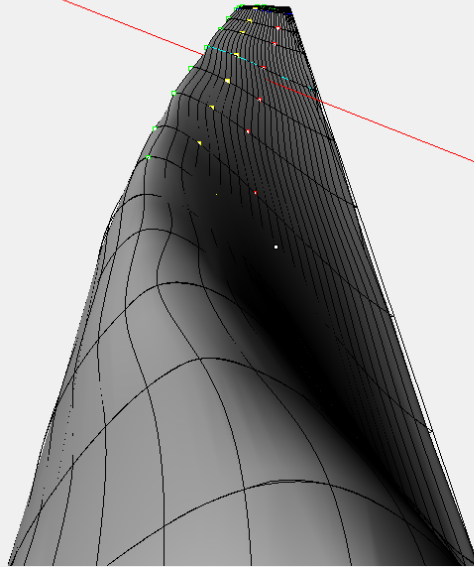
Simulation n°56
Bild 21
 $\alpha = 75.6^\circ$

Perspective



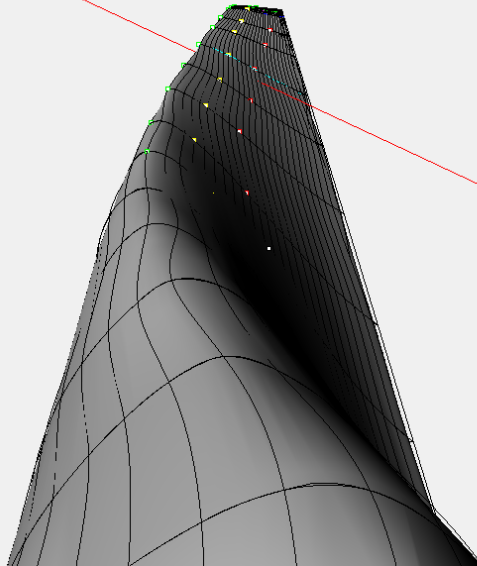
Simulation n°56
Bild 20
 $\alpha = 72^\circ$

Perspective



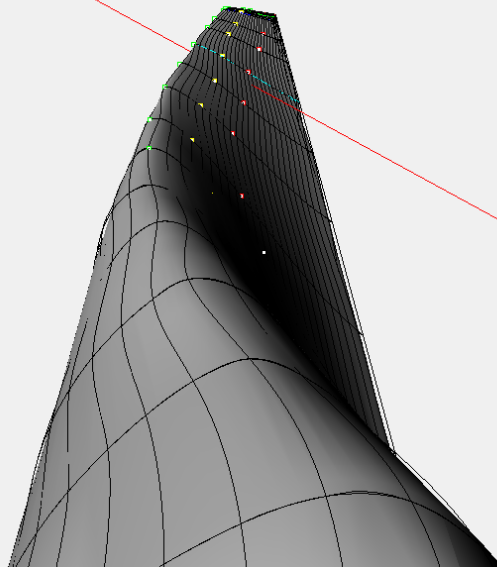
Simulation n°56
Bild 19
 $\alpha = 68.4^\circ$

Perspective



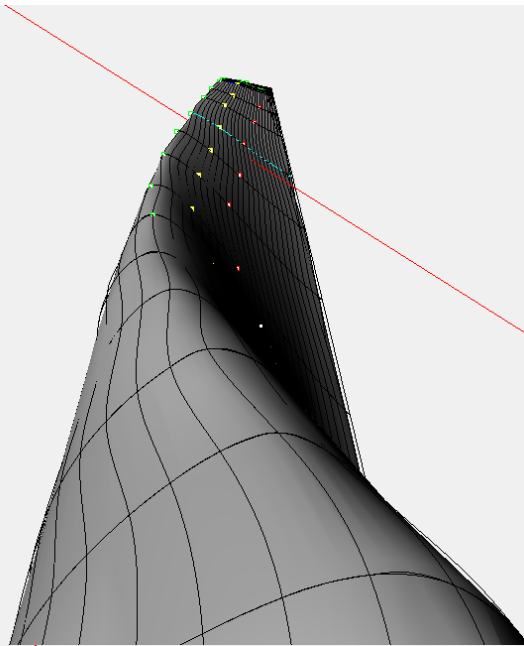
Simulation n°56
Bild 18
 $\alpha = 64.8^\circ$

Perspective



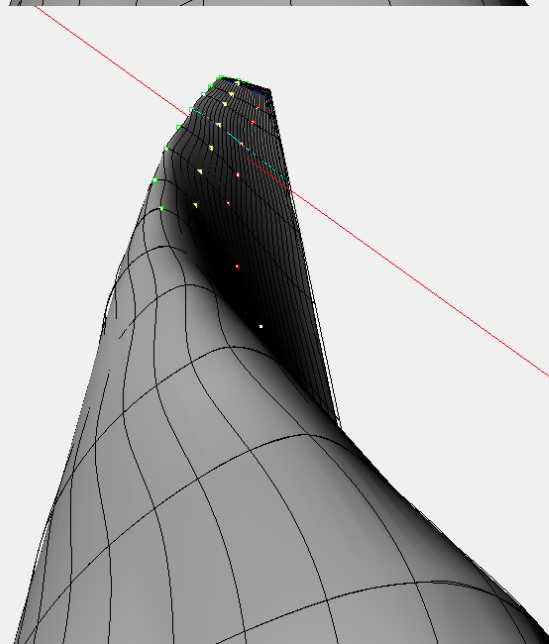
Simulation n°56
Bild 17
 $\alpha = 61.2^\circ$

Perspective



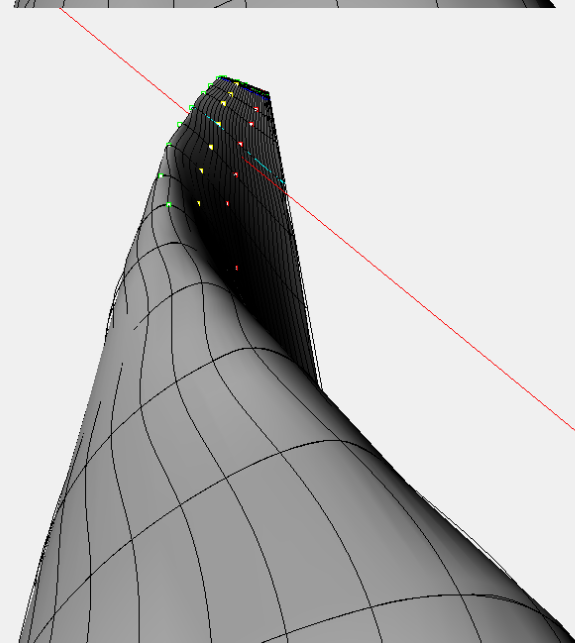
Simulation n°56
Bild 16
 $\alpha = 57.6^\circ$

Perspective



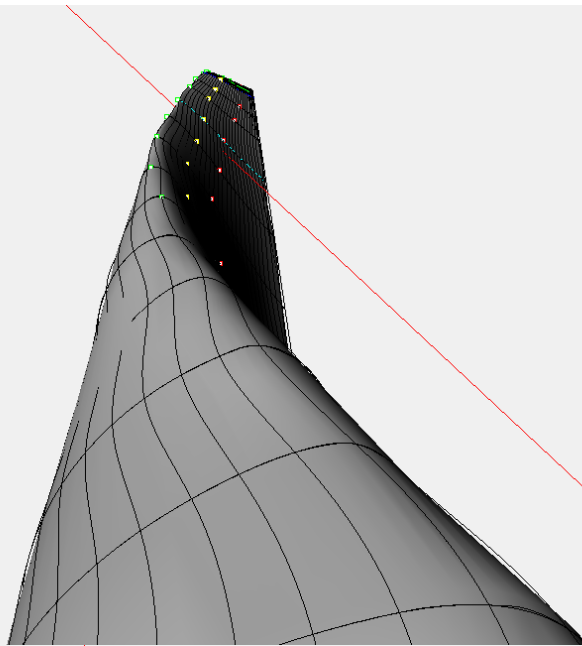
Simulation n°56
Bild 15
 $\alpha = 54^\circ$

Perspective



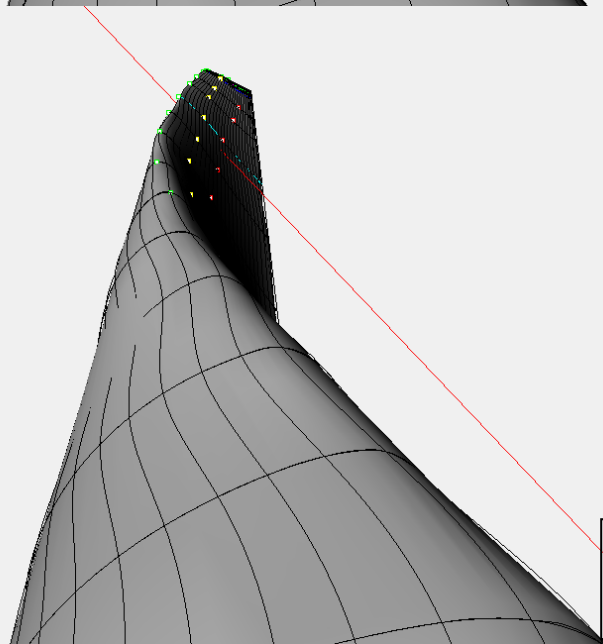
Simulation n°56
Bild 14
 $\alpha = 50.4^\circ$

Perspective



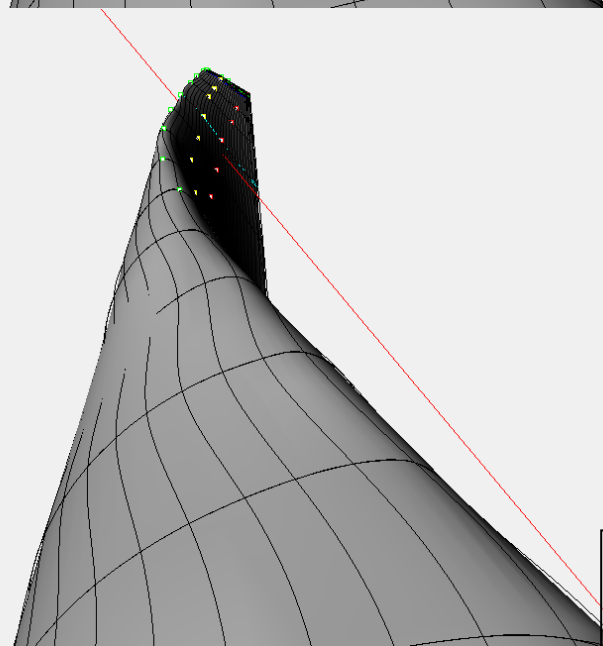
Simulation n°56
Bild 13
 $\alpha = 46.8^\circ$

Perspective



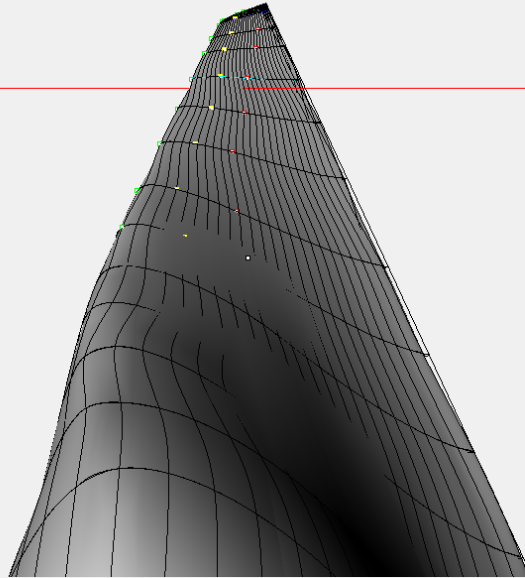
Simulation n°56
Bild 12
 $\alpha = 43.2^\circ$

Perspective



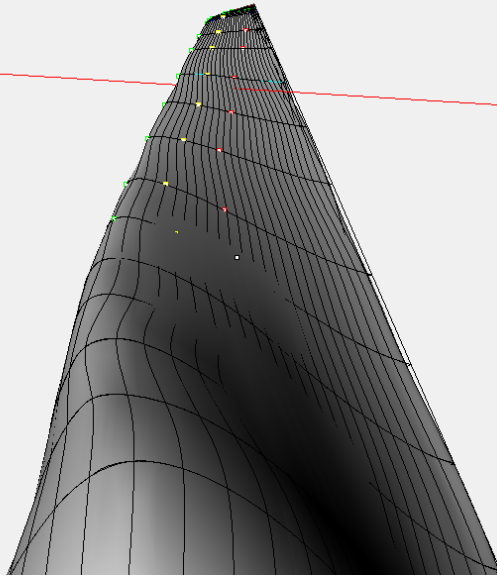
Simulation n°56
Bild 11
 $\alpha = 39.6^\circ$

Perspective



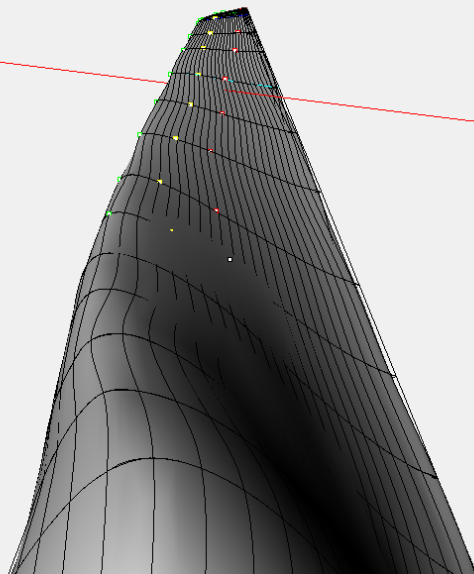
Simulation n°77
Bild 25
 $\alpha = 90^\circ$

Perspective



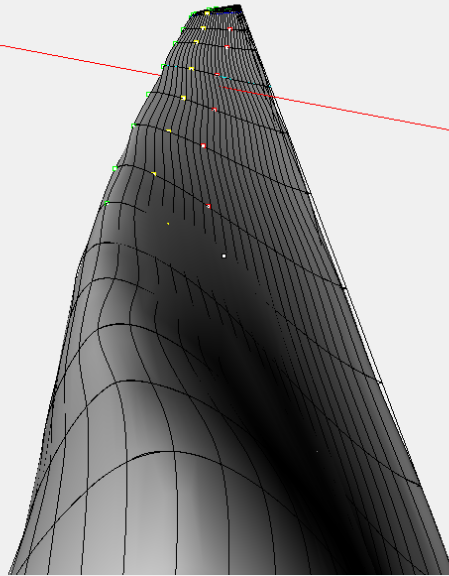
Simulation n°77
Bild 24
 $\alpha = 86.4^\circ$

Perspective



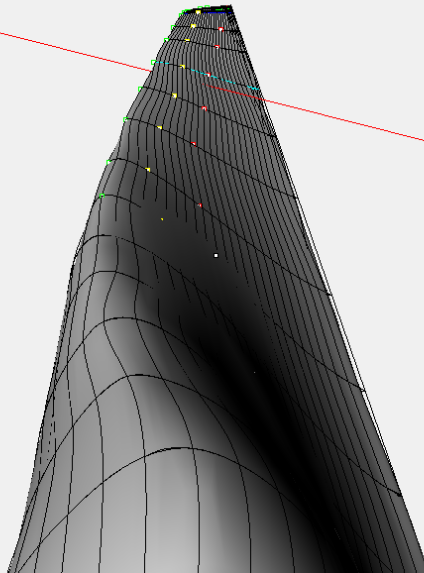
Simulation n°77
Bild 23
 $\alpha = 82.8^\circ$

Perspective



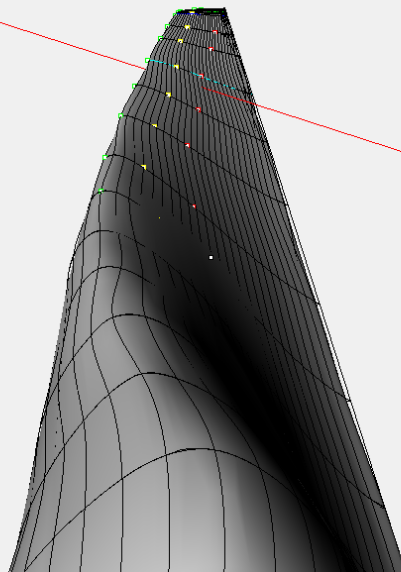
Simulation n°77
Bild 22
 $\alpha = 79.2^\circ$

Perspective



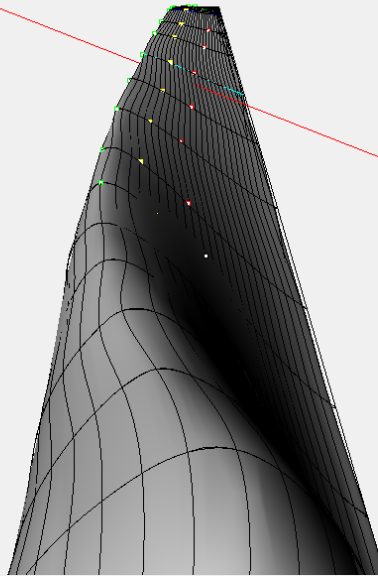
Simulation n°77
Bild 21
 $\alpha = 75.6^\circ$

Perspective



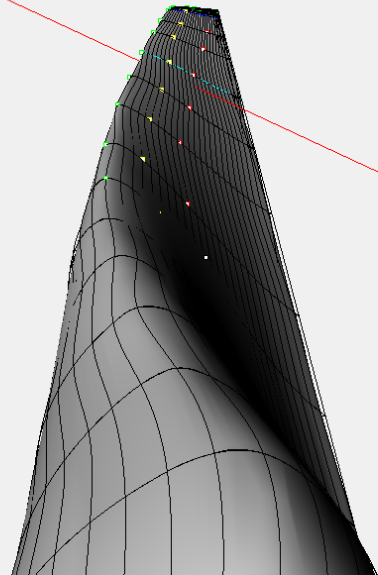
Simulation n°77
Bild 20
 $\alpha = 72^\circ$

Perspective



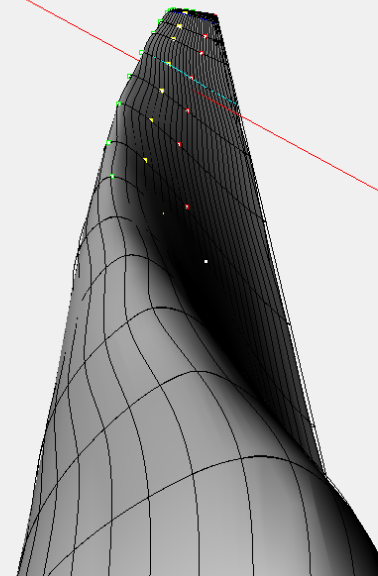
Simulation n°77
Bild 19
 $\alpha = 68.4^\circ$

Perspective



Simulation n°77
Bild 18
 $\alpha = 64.8^\circ$

Perspective



Simulation n°77
Bild 17
 $\alpha = 61.2^\circ$

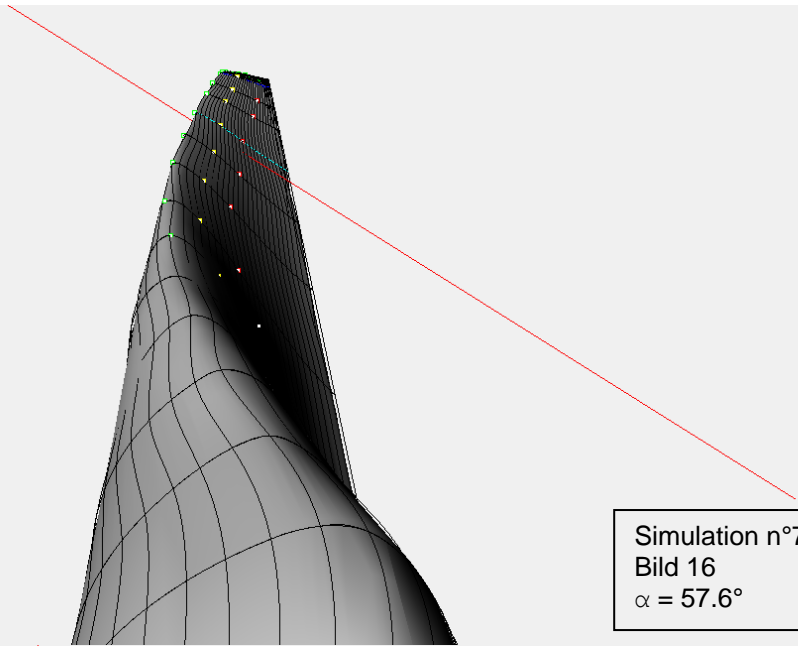
Perspective



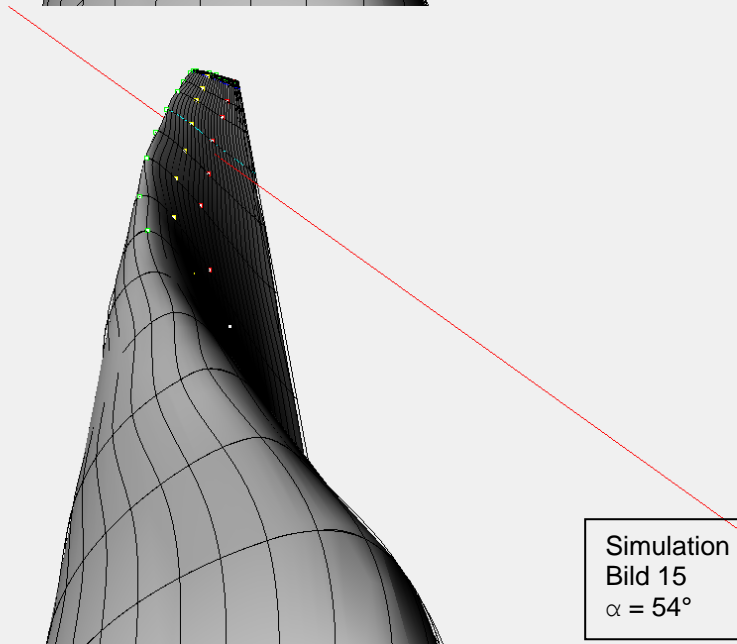
Perspective



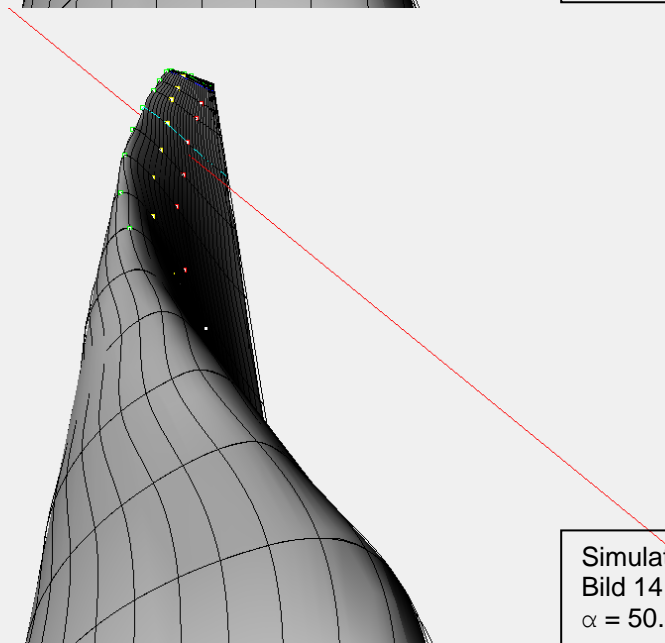
Perspective



Simulation n°77
Bild 16
 $\alpha = 57.6^\circ$

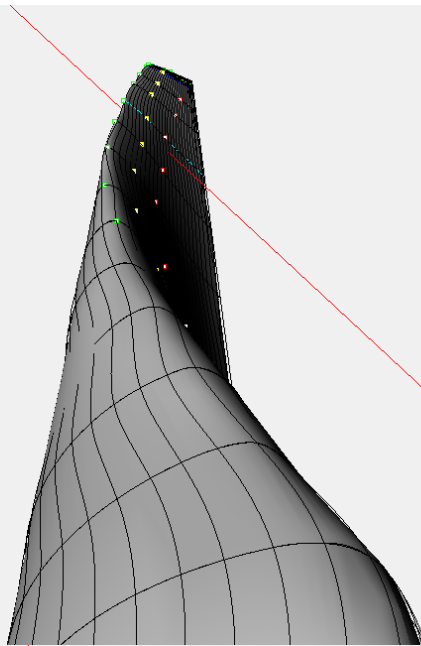


Simulation n°77
Bild 15
 $\alpha = 54^\circ$



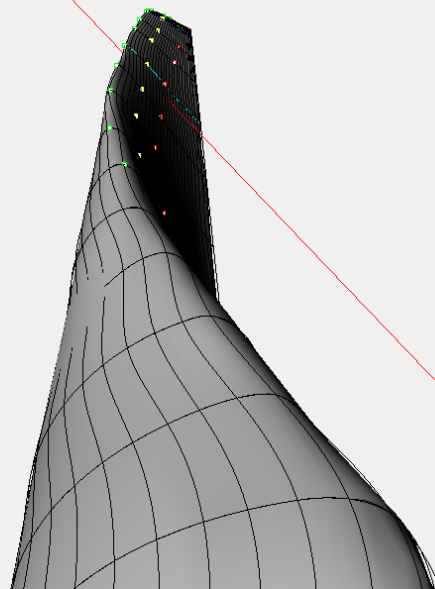
Simulation n°77
Bild 14
 $\alpha = 50.4^\circ$

Perspective



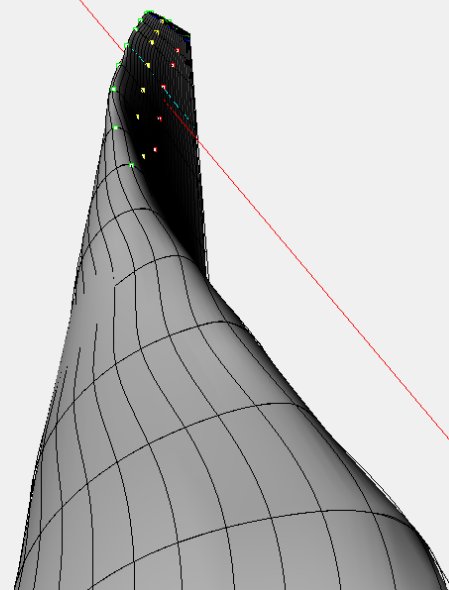
Simulation n°77
Bild 13
 $\alpha = 46.8^\circ$

Perspective



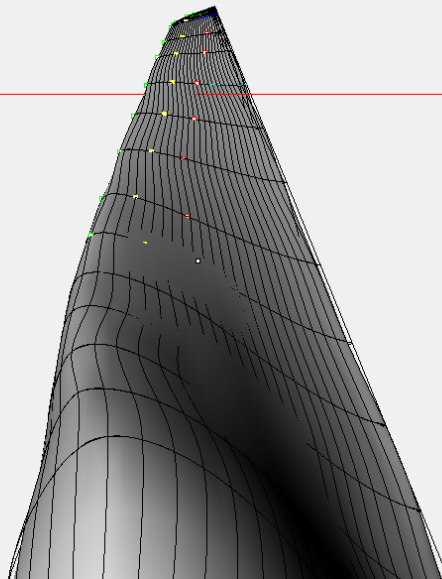
Simulation n°77
Bild 12
 $\alpha = 43.2^\circ$

Perspective



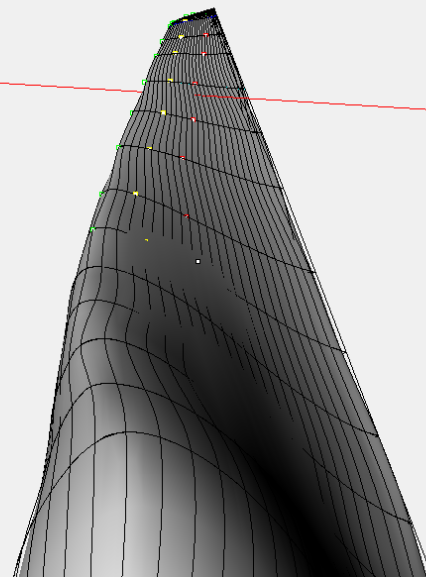
Simulation n°77
Bild 11
 $\alpha = 39.6^\circ$

Perspective



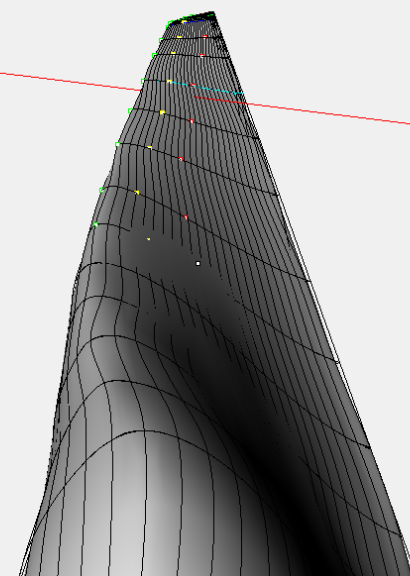
Simulation n°98
Bild 25
 $\alpha = 90^\circ$

Perspective



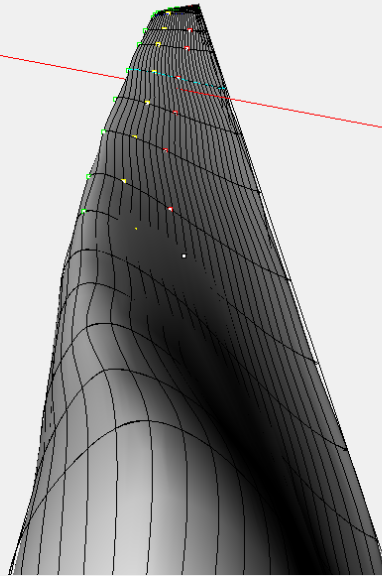
Simulation n°98
Bild 24
 $\alpha = 86.4^\circ$

Perspective



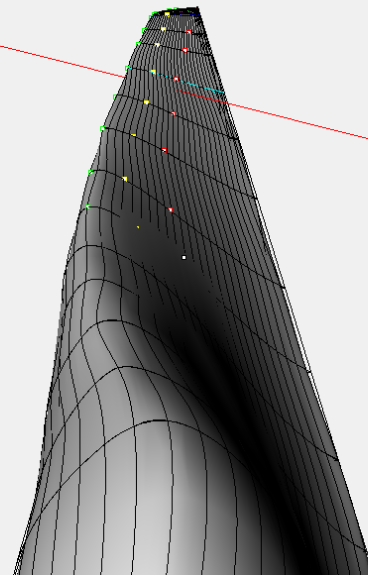
Simulation n°98
Bild 23
 $\alpha = 82.8^\circ$

Perspective



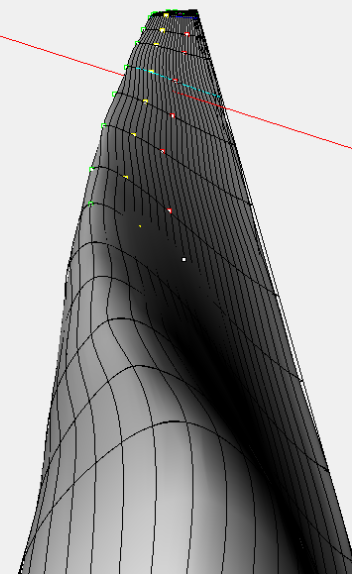
Simulation n°98
Bild 22
 $\alpha = 79.2^\circ$

Perspective



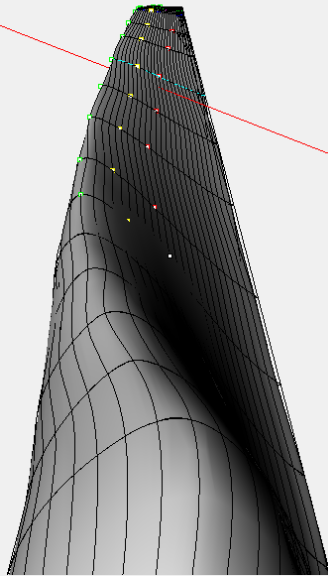
Simulation n°98
Bild 21
 $\alpha = 75.6^\circ$

Perspective



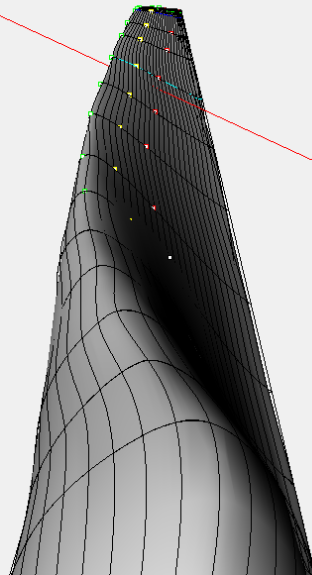
Simulation n°98
Bild 20
 $\alpha = 72^\circ$

Perspective



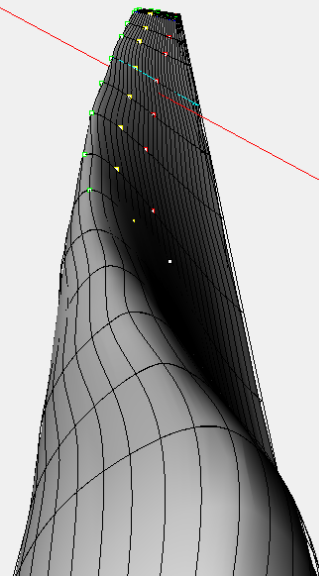
Simulation n°98
Bild 19
 $\alpha = 68.4^\circ$

Perspective



Simulation n°98
Bild 18
 $\alpha = 64.8^\circ$

Perspective



Simulation n°98
Bild 17
 $\alpha = 61.2^\circ$

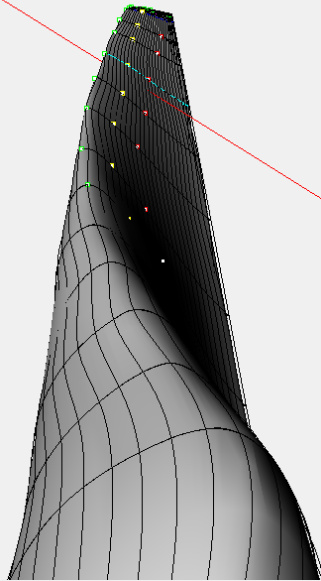
Perspective



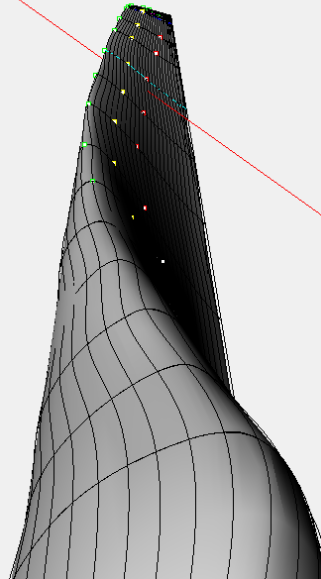
Perspective



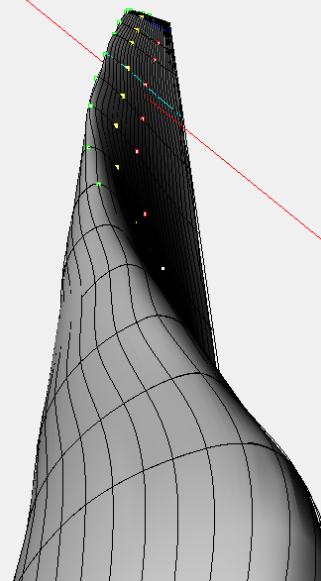
Perspective



Simulation n°98
Bild 16
 $\alpha = 57.6^\circ$

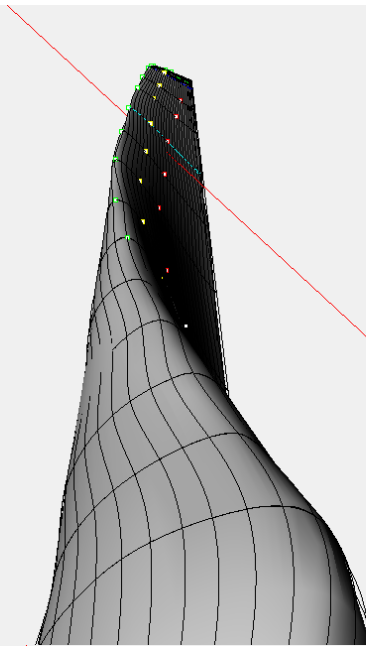


Simulation n°98
Bild 15
 $\alpha = 54^\circ$



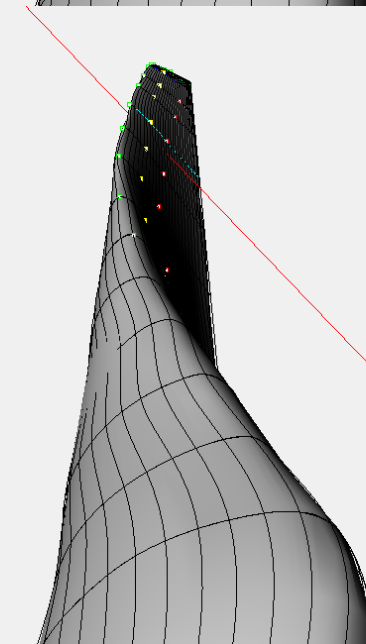
Simulation n°98
Bild 14
 $\alpha = 50.4^\circ$

Perspective



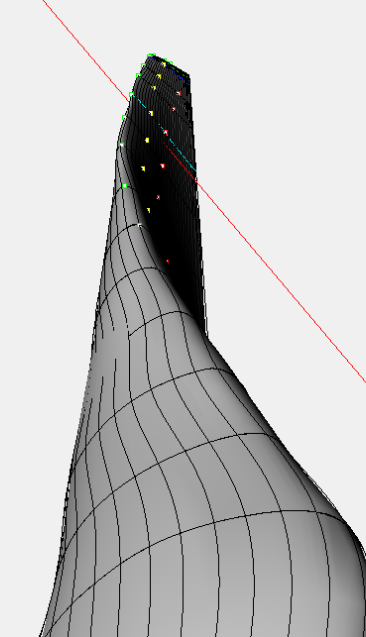
Simulation n°98
Bild 13
 $\alpha = 46.8^\circ$

Perspective



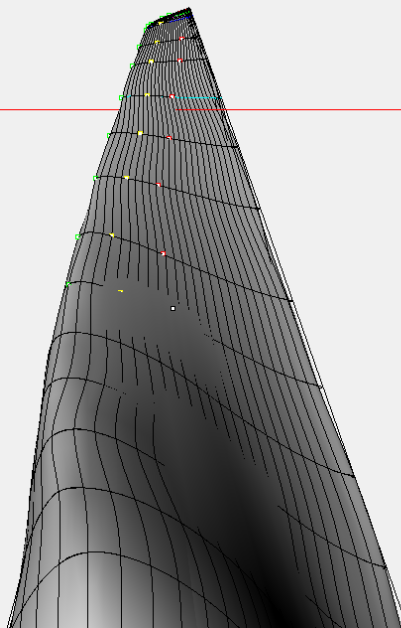
Simulation n°98
Bild 12
 $\alpha = 43.2^\circ$

Perspective



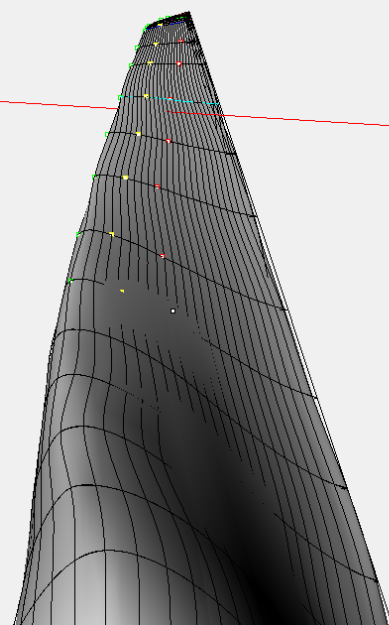
Simulation n°98
Bild 11
 $\alpha = 39.6^\circ$

Perspective



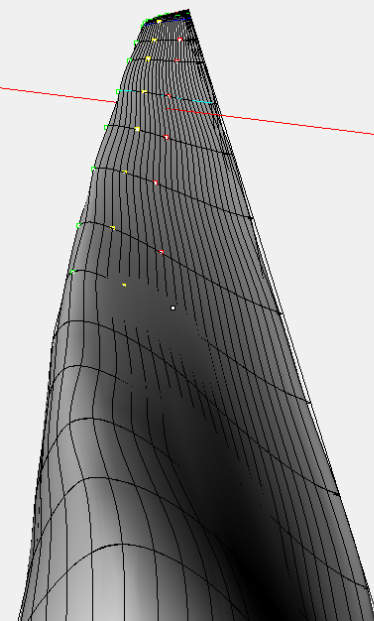
Simulation n°118
Bild 25
 $\alpha = 90^\circ$

Perspective

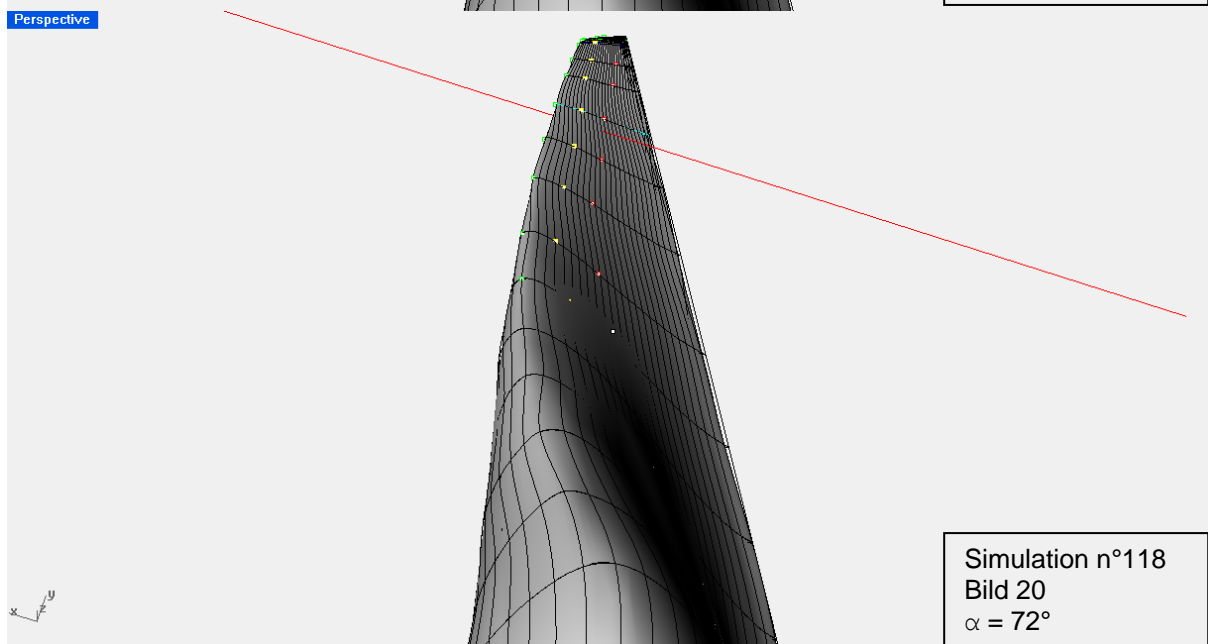
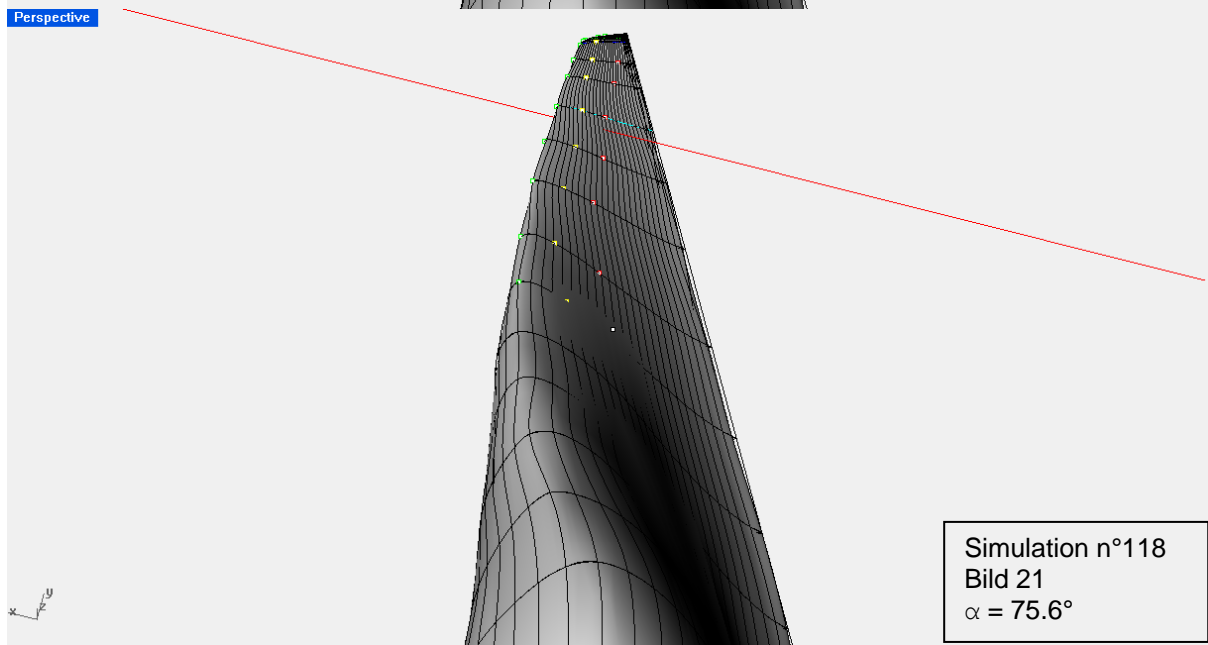
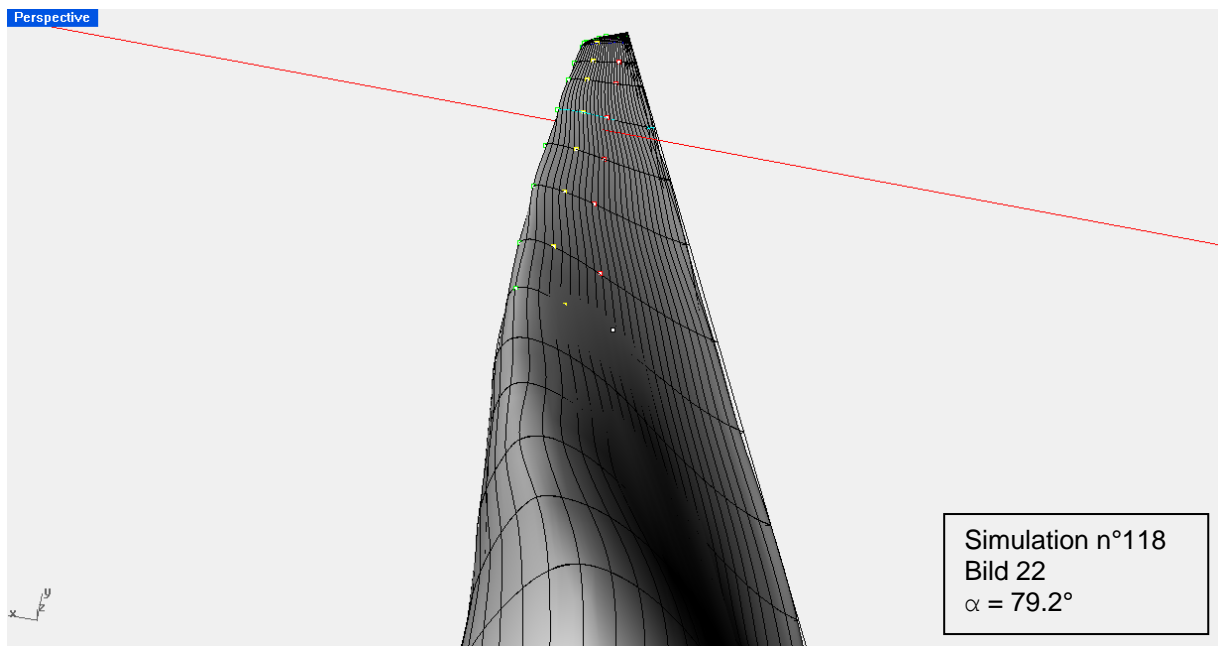


Simulation n°118
Bild 24
 $\alpha = 86.4^\circ$

Perspective



Simulation n°118
Bild 23
 $\alpha = 82.8^\circ$



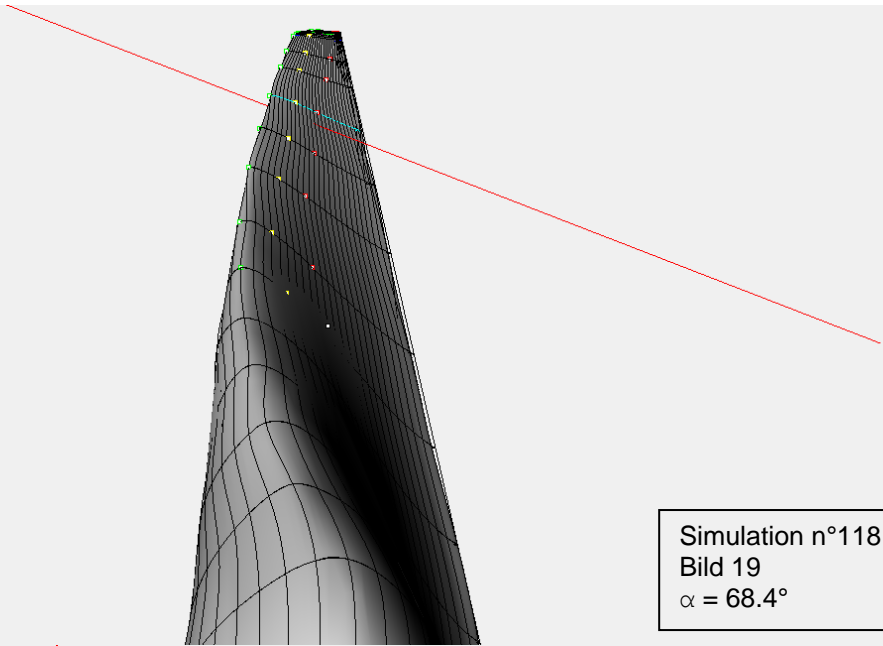
Perspective



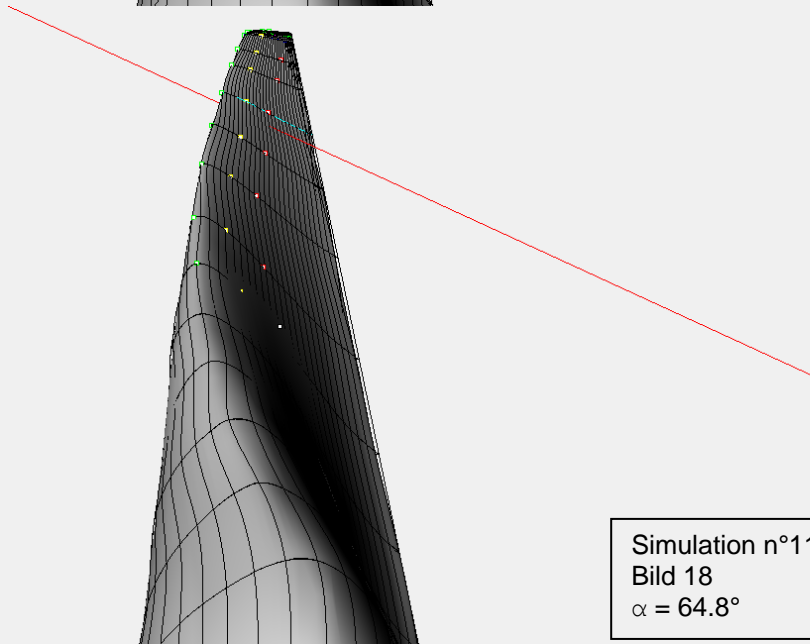
Perspective



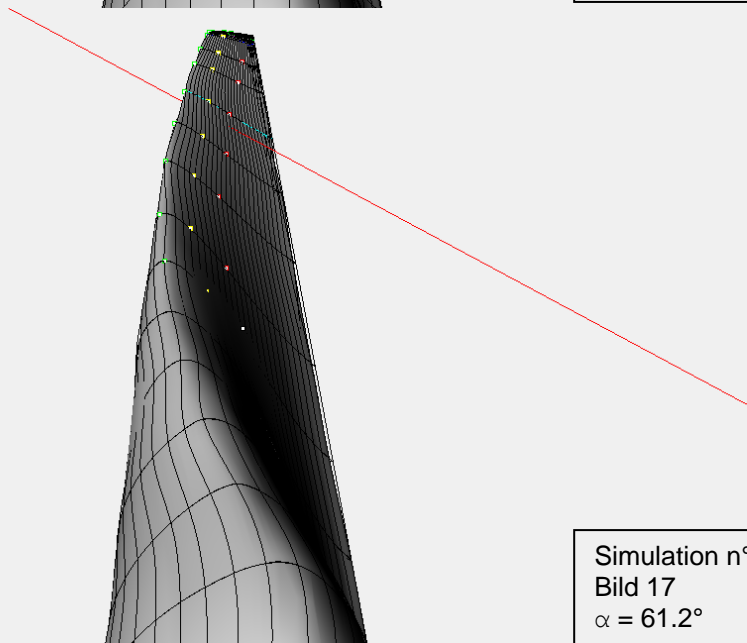
Perspective



Simulation n°118
Bild 19
 $\alpha = 68.4^\circ$



Simulation n°118
Bild 18
 $\alpha = 64.8^\circ$



Simulation n°118
Bild 17
 $\alpha = 61.2^\circ$

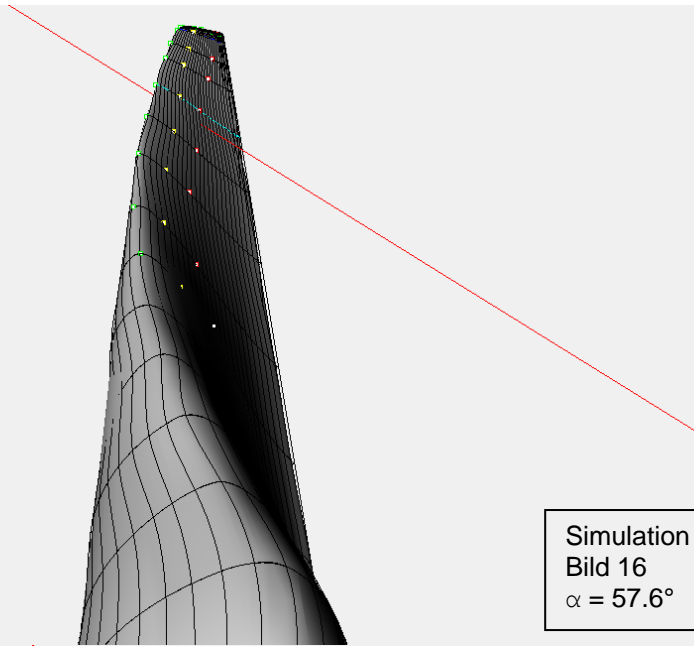
Perspective



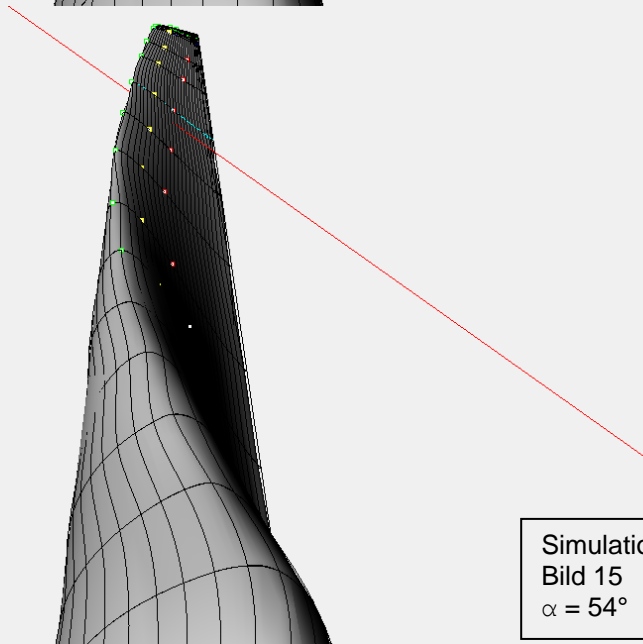
Perspective



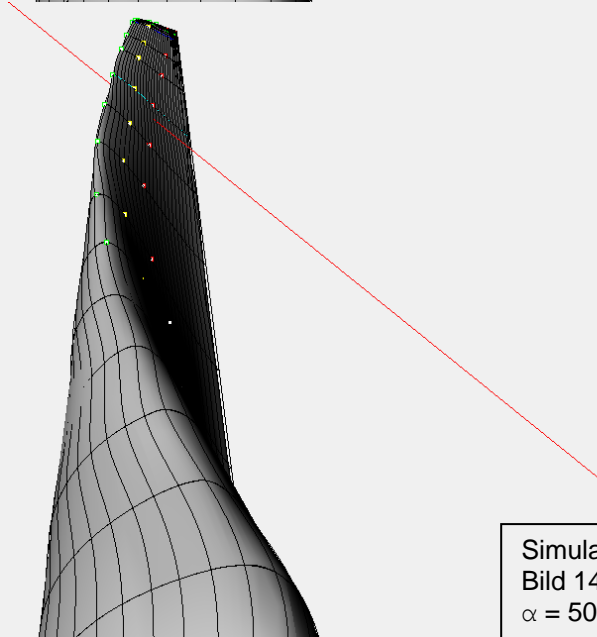
Perspective



Simulation n°118
Bild 16
 $\alpha = 57.6^\circ$

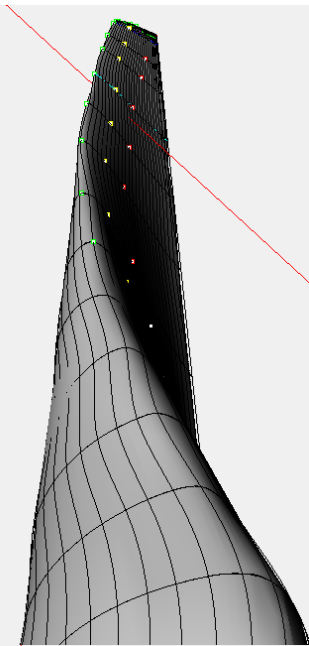


Simulation n°118
Bild 15
 $\alpha = 54^\circ$



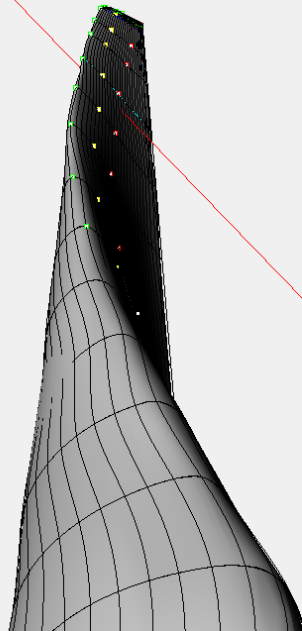
Simulation n°118
Bild 14
 $\alpha = 50.4^\circ$

Perspective



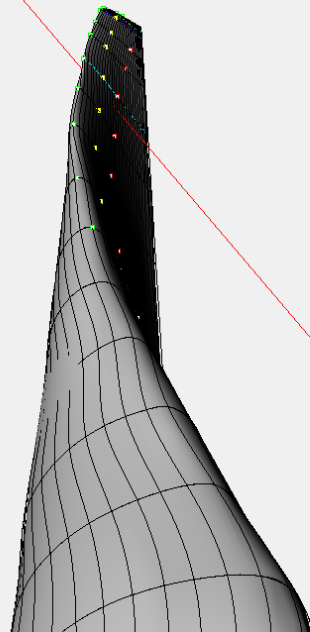
Simulation n°118
Bild 13
 $\alpha = 46.8^\circ$

Perspective



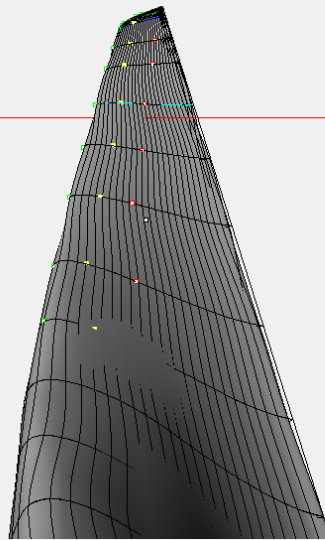
Simulation n°118
Bild 12
 $\alpha = 43.2^\circ$

Perspective



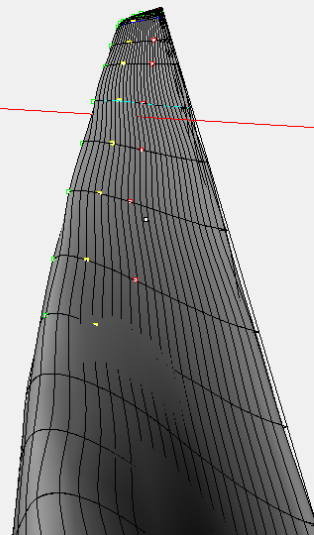
Simulation n°118
Bild 11
 $\alpha = 39.6^\circ$

Perspective



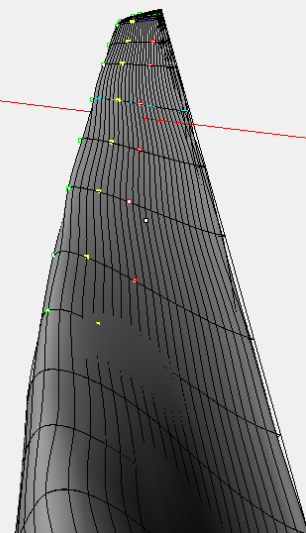
Simulation n°133
Bild 25
 $\alpha = 90^\circ$

Perspective



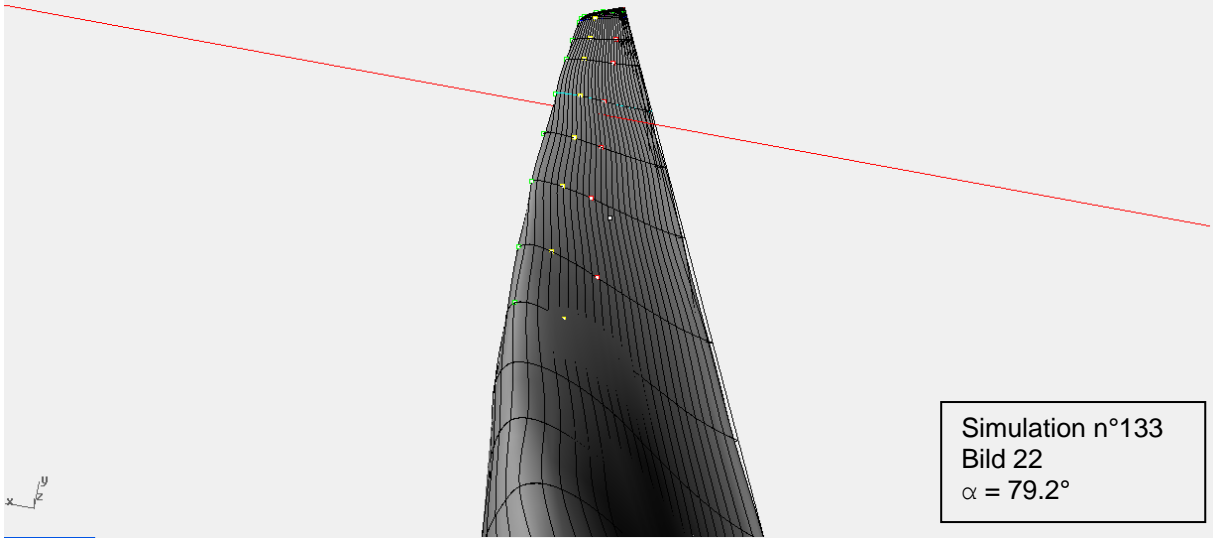
Simulation n°133
Bild 24
 $\alpha = 86.4^\circ$

Perspective

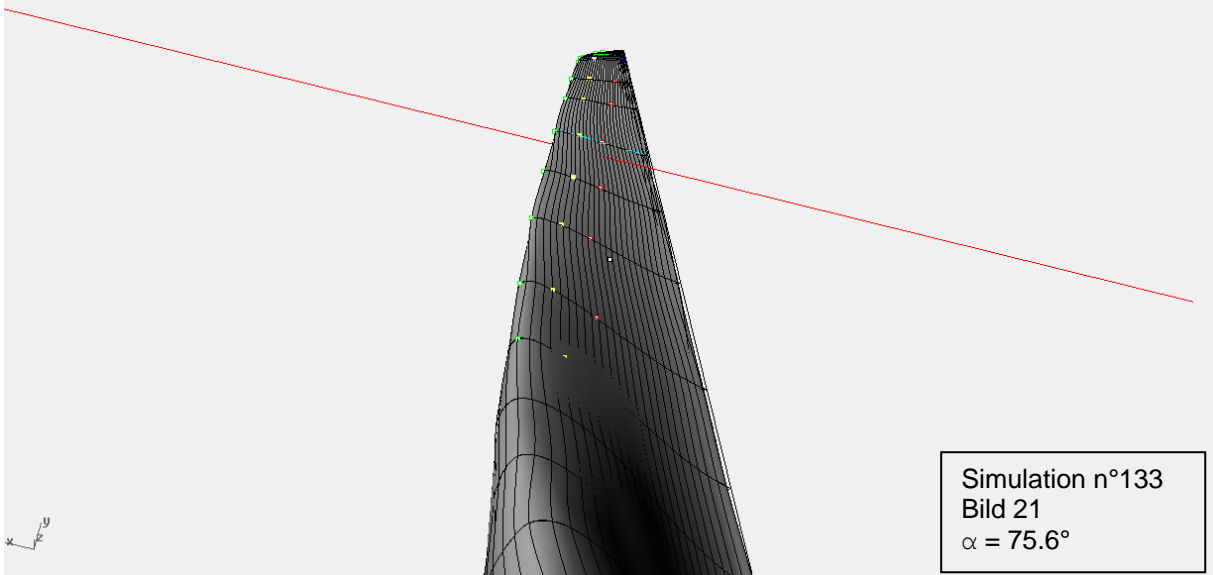


Simulation n°133
Bild 23
 $\alpha = 82.8^\circ$

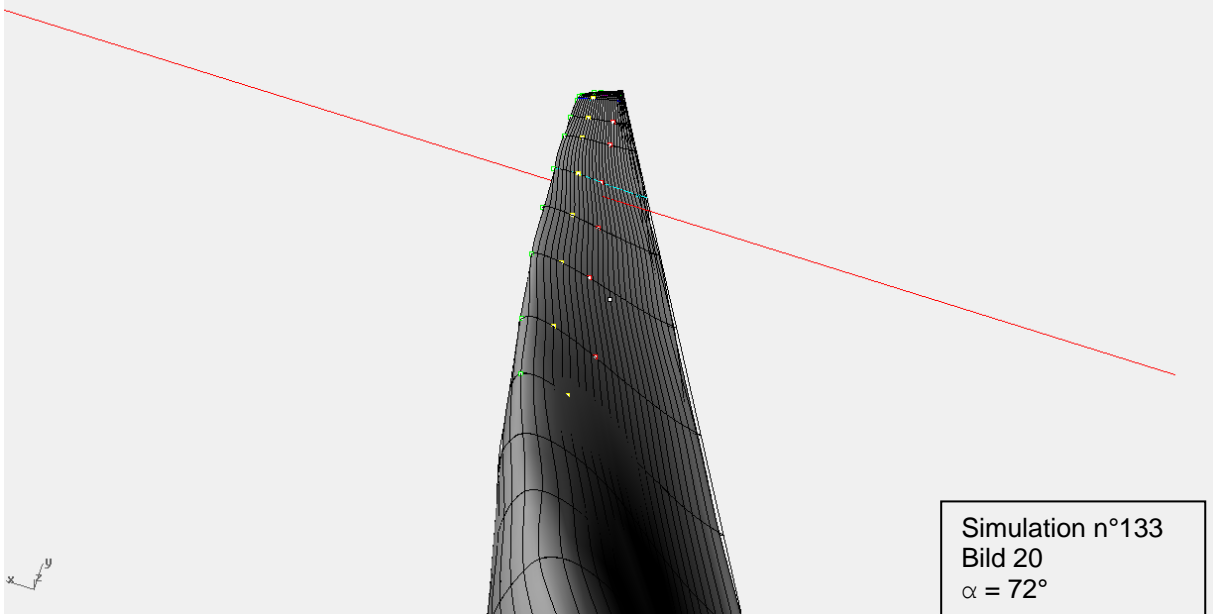
Perspective



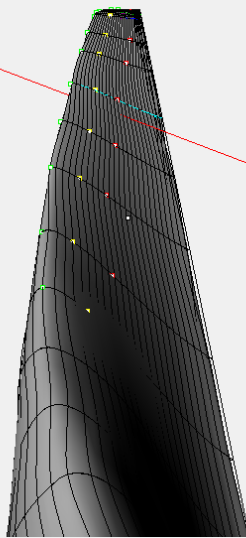
Perspective



Perspective

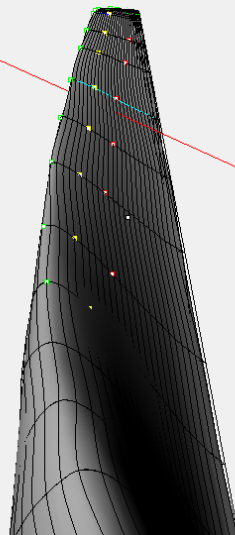


Perspective



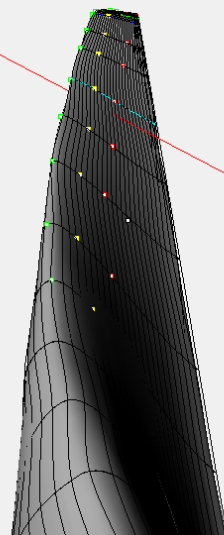
Simulation n°133
Bild 19
 $\alpha = 68.4^\circ$

Perspective



Simulation n°133
Bild 18
 $\alpha = 64.8^\circ$

Perspective



Simulation n°133
Bild 17
 $\alpha = 61.2^\circ$

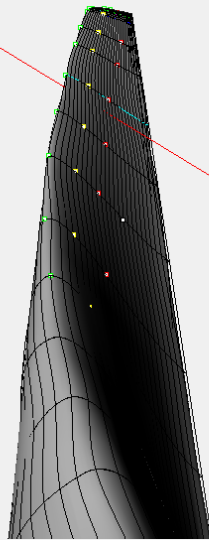
Perspective



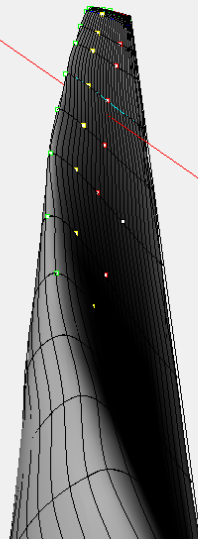
Perspective



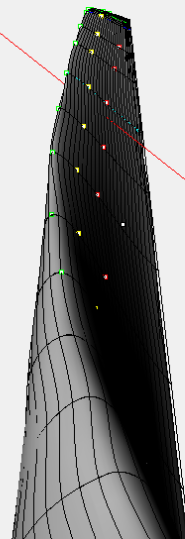
Perspective



Simulation n°133
Bild 16
 $\alpha = 57.6^\circ$

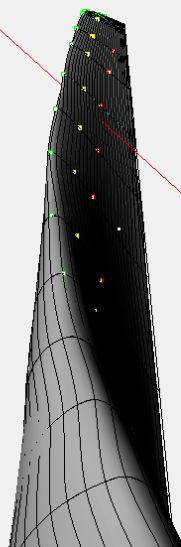


Simulation n°133
Bild 15
 $\alpha = 54^\circ$



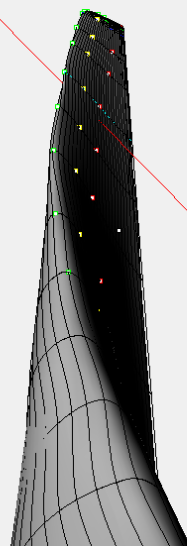
Simulation n°133
Bild 14
 $\alpha = 50.4^\circ$

Perspective



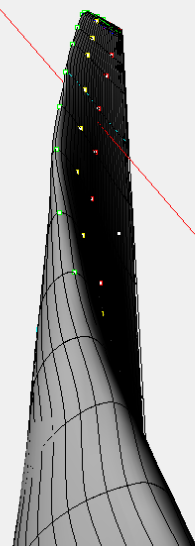
Simulation n°133
Bild 13
 $\alpha = 46.8^\circ$

Perspective



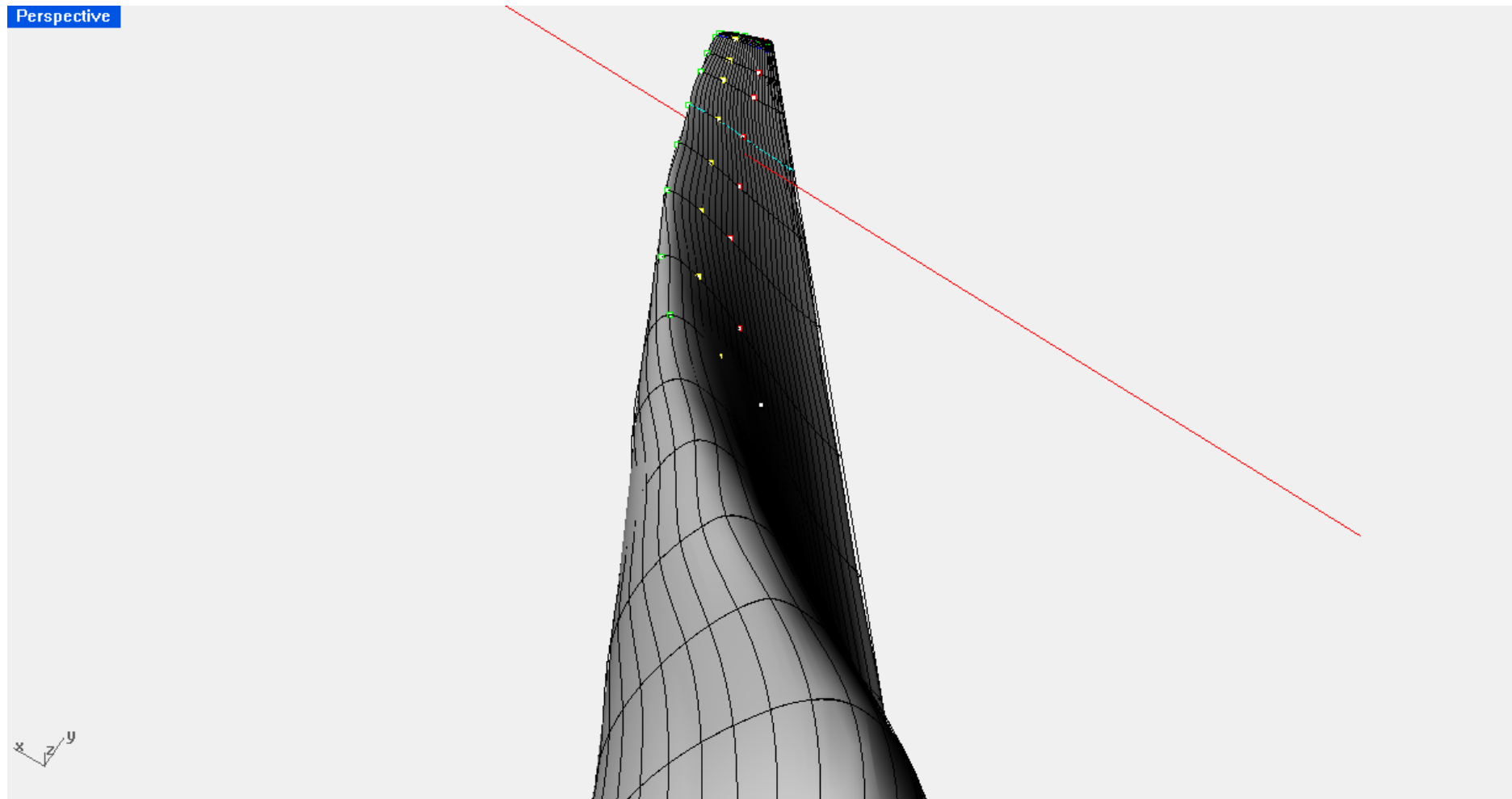
Simulation n°133
Bild 12
 $\alpha = 43.2^\circ$

Perspective

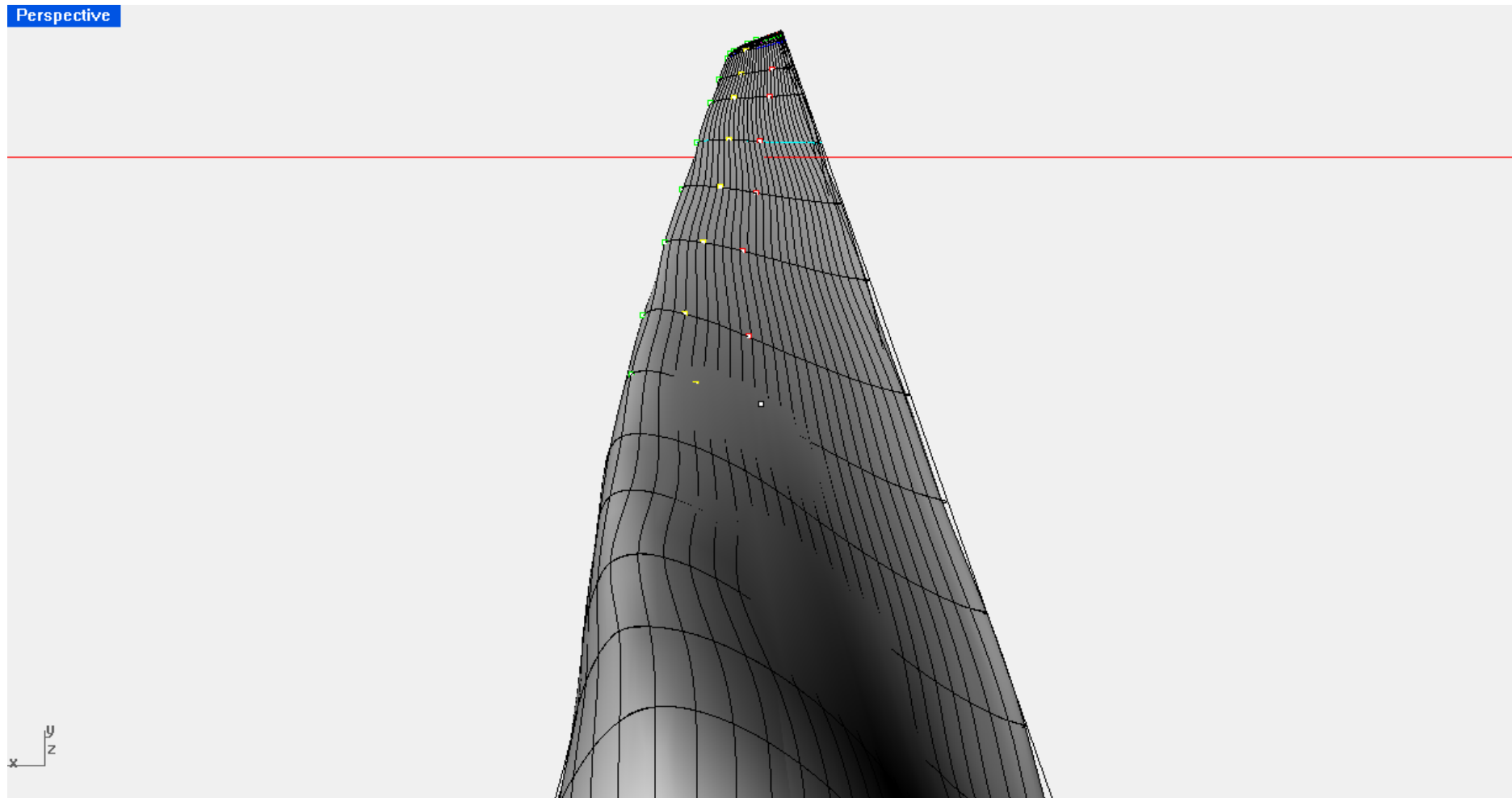


Simulation n°133
Bild 11
 $\alpha = 39.6^\circ$

Simulationssequenz n°118 – Bild 16 ($\alpha = 57.6^\circ$)



Simulationssequenz n°118 – Bild 25 ($\alpha = 90^\circ$)



1. ALLGEMEINE BESCHREIBUNG

Kältespray mit **DEKRA-geprüfter Sicherheit**: Keine Entzündungs- und Explosionsgefahr bei bestimmungsgemäßer Anwendung (Prüfauftrag 416152/97). Standardspray für gut belüftete Einsatzbereiche. Hochwertige Kältemittelmischung auf Basis 1,1,1,2 Tetrafluorethan (R 134a), enthält zusätzlich 7% entzündliche Bestandteile (DME). Frei von FCKW und HFCKW.

2. PRODUKTMERKMALE

KÄLTE 75 besteht aus hochreinen, unter Druck verflüssigten Gasen. Die Flüssigkeit verdampft sehr schnell und entzieht dabei der Umgebung Verdampfungswärme. Dadurch kühlt sich die abgesprühte Oberfläche stark ab (max. – 52°C). Die Kühlleistung liegt bei 265 J/ml. Die Kältemittelmischung ist unter praktischen Anwendungsbedingungen nicht entzündbar (DEKRA-geprüft). Es besteht kein ozonschädigendes Potential (ODP =0).

3. ANWENDUNGSBEISPIELE

- Zur thermischen Fehlersuche an elektronischen Bauteilen.
- Zur Vermeidung von Überhitzungen beim Verlöten.
- Zur Prüfung von Thermostaten und Thermofühlern.
- Zum Kälteschrumpfen von kleinen Metallteilen.
- Zum Entfernen von klebrigen Verunreinigungen aus Textilien.
- Zum Schockfrieren von Gummi, Plastik oder histologischen Präparaten.

4. GEBRAUCHSANWEISUNG

- Zur thermischen Fehlersuche wird das zu prüfende Gerät in Betrieb genommen. Nach der Fehlreaktion des Gerätes, werden verdächtige Bauteile mit KÄLTE 75 gezielt angesprüht und Veränderungen der Gerätefunktion beobachtet. Ein defektes Bauteil kann dadurch schnell lokalisiert werden.
- KÄLTE 75 kann zum Schrumpfen von kleinen Teilen verwendet werden. Es war z.B. in Versuchen möglich, Kugellager mit 30 mm Außendurchmesser in Querpresspassungen einzubauen.
- Klebrige Stoffe wie Kaugummi werden beim Ansprühen mit KÄLTE 75 hart und brüchig. Sie können so leicht aus Geweben „herausgebröselt“ werden.
- Schutzpapiere auf selbstklebenden Folien oder Fasern lassen sich nach kurzem Ansprühen an einer Ecke mühelos greifen und danach abziehen.
- Schockfrieren mit KÄLTE 75 bewährt sich auch beim Bearbeiten von weichem Gummi oder von histologischen Schnitten.

KÄLTE 75 greift übliche Werkstoffe nicht an. Teile, die auf schnelle Temperaturwechsel empfindlich reagieren, sollen jedoch nicht behandelt werden. Das Produkt verdampft rückstandsfrei. Bei hoher Luftfeuchtigkeit schlägt sich Tau nieder, der zu Eis gefriert und dann einen weißlichen Belag bildet, der von selbst verschwindet oder abgewischt werden kann. Verunreinigungen aus der Luft können dabei auch abgeschieden werden. Hier empfiehlt sich das Nachreinigen der Oberfläche mit KONTAKT WL.

KÄLTE 75 ist bei den beschriebenen Verfahren gesundheitlich unbedenklich. Das Kältemittel darf jedoch nicht in Flammen gesprüht werden, da sich hierbei gesundheitsschädliche Zersetzungsprodukte bilden können. KÄLTE 75 kann durch seine starke Kühlwirkung Erfrierungen auf der Haut hervorrufen. Es ist deshalb nicht zur Behandlung von Sportverletzungen geeignet.

Bei den üblichen Arbeitsverfahren in der Elektrotechnik besteht selbst an eingeschalteten elektrischen Geräten kein Entzündungsrisiko. Dies wird durch ein unabhängiges DEKRA-Gutachten bestätigt. Bei Anforderung einer absolut unbrennbaren Kältemischung in besonders gefährdeten Bereichen (EX-Schutz) raten wir, auf KÄLTE 75 SUPER auszuweichen.

5. TYPISCHE PRODUKTDATEN

Dichte bei 20 °C (FEA 605)	: 1,14 g/cm ³
Dampfdruck bei 20 °C (FEA 604)	: 460 kPa
Verdampfungswärme am Siedepunkt, berechnet	: 265 J/ml
Tiefsttemperatur (an Glasthermometer bei 20°C)	: - 52 °C
Entflammbarkeitstest (FEA 610)	: nicht entflammbar

6. GEBINDE



200 ml, 400 ml

Die Inhalte dieses Merkblattes basieren auf Anwendungserfahrungen und/oder Labortests. Aufgrund der Vielzahl unterschiedlicher Anwendungen und Rahmenbedingungen, empfehlen wir stets die eigene Prüfung der von uns gelieferten Produkte auf ihre Eignung für die vorgesehene Anwendung. Die Angaben stützen sich auf den heutigen Stand unserer Kenntnisse, sie stellen jedoch keine Zusicherung von Produkteigenschaften dar und begründen kein vertragliches Rechtsverhältnis.

Dieses Merkblatt muss stets auf dem neuesten Stand der Technik und der Vorschriften gehalten werden und wird deshalb ständig aktualisiert. Die jeweils gültige Version kann bei CRC angefordert werden oder ist auf unserer Homepage zu finden unter: www.crcind.com. Hier ist darüber hinaus das Update-Modul 'My CRC' verfügbar, in dem Sie nach Registrierung Ihrer E-Mail-Adresse automatisch über Änderungen in den von Ihnen ausgewählten Datenblättern informiert werden.

Version : 20844 04 1003 00

Date : 201003

CMOS Cameras

HURRICANE/THUNDER SERIES

High-Dynamic CMOS Cameras

Benefits

- Image tag with main acquisition parameters
- 12 bit digital output resolution
- Superior SNR (Signal to Noise Ratio)
- Opto isolated trigger and strobe I/Os
- Multiple Regions of Interest (MROI)
- CameraLink™ and USB2.0 interfaces
- Ultra low trigger delay and jitter
- Shading and gamma corrections
- LinLog™ functionality
- Up to 120 dB dynamic range
- Look-up table (LUT)



HURRICANE-40

Application examples

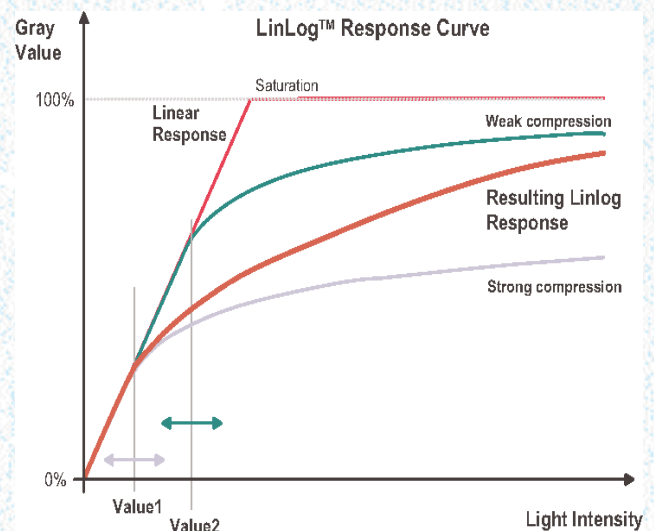
Machine vision

- Standard vision applications
- PCB inspection
- Welding & soldering
- Laser triangulation
- Packaging inspection
- Quality control
- Keyhole analysis

Motion analysis

- Slow-motion sequences
- Biomedical applications

Visit our website www.photonfocus.com for application reports.



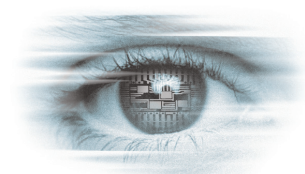
HURRICANE / THUNDER

High-Dynamic CMOS Cameras

- Digital monochrome CMOS cameras with 1024 x 1024 or 752 x 582 pixels
- Up to 87 frames per second with full resolution
- Up to 120 dB dynamic range with LinLog™ technology
- Up to 12 bit digital output
- User defined shading and gamma corrections
- Look-up table (LUT) and image information line
- Up to 17 selectable windows (MROI)
- CameraLink™ or USB2.0 interfaces
- Unique trigger and strobe control
- Opto-isolated trigger and strobe I/Os

	HURRICANE-40		THUNDER-90	
Image Sensor				
Technology	CMOS active pixel			
Scanning system	Progressive scan			
Optical format / diagonal	1" / 15.42 mm		2/3" / 10.12 mm	
Resolution	1024 x 1024 pixels		752 x 582 pixels	
Pixel size	10.6 x 10.6 µm²			
Active optical area	10.9 x 10.9 mm²		8.0 x 6.2 mm²	
Random noise	< 0.5 DN RMS @ 8 bit / gain = 1			
Fixed pattern noise (FPN)	< 1.0 DN RMS @ 8 bit / gain = 1 / offset correction on			
Dark current	2 fA/pixel @ 30 °C			
Full well capacity	200 ke⁻			
Spectral range	400 nm ... 900 nm			
Responsivity	120 x 10³ DN / (J/m²) @ 610 nm / 8 bit / gain = 1 (approximately 350 DN / (lux s) @ 610 nm / 8 bit / gain = 1)			
Optical fill factor	35%			
Dynamic range	Up to 120 dB with LinLog™			
Colour format	Monochrome			
Characteristic curve	Linear, LinLog™, Skimming			
Shutter mode	Global shutter			
Readout mode	Sequential integration and readout			
Camera				
Exposure time	10 µs ... 0.41 s / 25 ns steps			
Frame rate CL	37 fps		87 fps	
Frame rate USB2.0	Up to 37 fps (mode & bitdepth dependent)		Up to 87 fps (mode & bitdepth dependent)	
Pixel clock	40 MHz			
Camera taps	1			
Greyscale resolution	12 bit / 10 bit / 8 bit			
Analogue gain	1			
Digital gain	1 or 2 or 4			
Configuration interface	CL SERIAL (9600 baud)			
Trigger modes	• Free running (non triggered) • Interface trigger • I/O trigger			
Features	• (Multiple) Regions of interest (ROI/MROI) • On camera shading correction • Decimation in x / y direction • Look-up table • Image information • Enhanced trigger features • Skimming • LinLog™ • Trigger input • Strobe output			
Interfaces	CameraLink™ base configuration	USB 2.0	CameraLink™ base configuration	USB 2.0
Operating temperature	0 °C ... + 60 °C			
Power supply	+ 12 V DC +/- 10%			
Power consumption	1.6 W	3.0 W	1.6 W	3.0 W
Lens mount	C-Mount (CS-Mount optional)			
Dimensions (C-Mount)	55 x 55 x 39 mm³	55 x 55 x 49 mm³	55 x 55 x 39 mm³	55 x 55 x 49 mm³
Mass	200 g	210 g	200 g	210 g
Conformity	CE / UL			
Special	Adjustable backfocus			

For more information about our worldwide distributors please visit our website.
Photonfocus cannot be held responsible for any technical or typographical errors.



```
%read image 1.bmp
I = imread('1.bmp');

%show image 1.bmp
imshow(I);

x=1;
y=1;

%pixel value is tested for all the pixel
for x = 1:415
    for y = 1:817

%when value is up to 255, pixel is colored in black
        if (I(x,y)>=255)
            I(x,y)=0;
        end

    end
    x=x+1;
    y=y+1;
end

%show the processed image
figure;imshow(I);
```



improfile

Pixel-value cross-sections along line segments

Syntax

```
c = improfile
c = improfile(n)

c = improfile(I,xi,yi)
c = improfile(I,xi,yi,n)

[cx,cy,c] = improfile(...)
[cx,cy,c,xi,yi] = improfile(...)

[...] = improfile(x,y,I,xi,yi)
[...] = improfile(x,y,I,xi,yi,n)

[...] = improfile(..., method)
```

Description

`improfile` computes the intensity values along a line or a multiline path in an image. `improfile` selects equally spaced points along the path you specify, and then uses interpolation to find the intensity value for each point. `improfile` works with grayscale images and RGB images.

If you call `improfile` with one of these syntaxes, it operates interactively on the image in the current axes.

```
c = improfile
c = improfile(n)
```

`n` specifies the number of points to compute the intensity value for. If you do not provide this argument, `improfile` chooses a value for `n`, roughly equal to the number of pixels the path traverses.

You specify the line or path using the mouse, by clicking points in the image. Press **Backspace** or **Delete** to remove the previously selected point. A shift-click, right-click, or double-click adds a final point and ends the selection. Pressing **Return** finishes the selection without adding a point. When you finish selecting points, `improfile` returns the interpolated data values in `c`. `c` is an `n`-by-1 vector if the input is a grayscale intensity image, or an `n`-by-1-by-3 array if the input is an RGB image.

If you omit the output argument, `improfile` displays a plot of the computed intensity values. If the specified path consists of a single line segment, `improfile` creates a two-dimensional plot of intensity values versus the distance along the line segment. If the path consists of two or more line segments, `improfile` creates a three-dimensional plot of the intensity values versus their `x`- and `y`-coordinates.

You can also specify the path noninteractively, using these syntaxes.

```
c = improfile(I,xi,yi)
```



```
c = improfile(I,xi,yi,n)
```

`xi` and `yi` are equal-length vectors specifying the spatial coordinates of the endpoints of the line segments.

You can use these syntaxes to return additional information.

```
[cx,cy,c] = improfile(...)  
[cx,cy,c,xi,yi] = improfile(...)
```

`cx` and `cy` are vectors of length `n`, containing the spatial coordinates of the points at which the intensity values are computed.

To specify a nondefault spatial coordinate system for the input image, use these syntaxes.

```
[...] = improfile(x,y,I,xi,yi)  
[...] = improfile(x,y,I,xi,yi,n)
```

`x` and `y` are two-element vectors specifying the image `XData` and `YData`.

`[...] = improfile(...,method)` uses the specified interpolation method. `method` is a string that can have one of these values. The default value is enclosed in braces (`{}`).

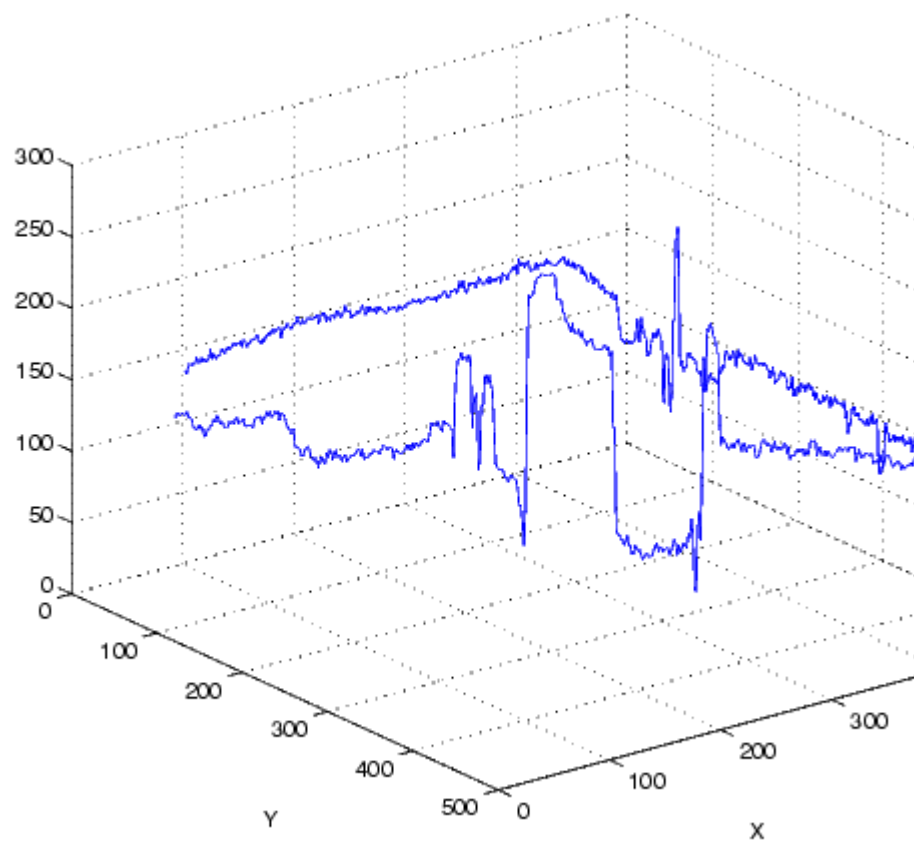
Value	Description
{ 'nearest' }	Nearest-neighbor interpolation
'bilinear'	Bilinear interpolation
'bicubic'	Bicubic interpolation

Class Support

The input image can be `uint8`, `uint16`, `int16`, `single`, `double`, or `logical`. All other inputs and outputs must be `double`.

Example

```
I = imread('liftingbody.png');  
x = [19 427 416 77];  
y = [96 462 37 33];  
improfile(I,x,y),grid on;
```



See Also

[impixel](#)

[interp2](#) in the MATLAB Function Reference

[impositionrect](#)

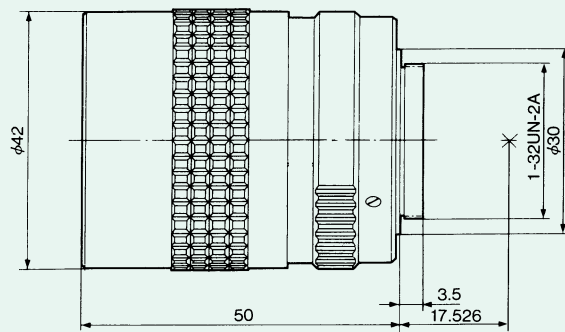
[imread](#)

© 1994–2005 The MathWorks, Inc. • [Terms of Use](#) • [Patents](#) • [Trademarks](#)

2/3, 1 Format Manual Iris

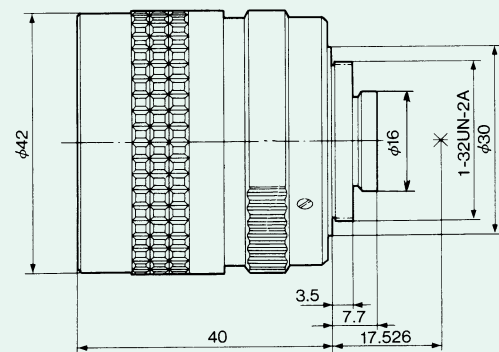
B1214D-2(C21211)

C-MOUNT
Unit:mm



B1218-2(C21212)

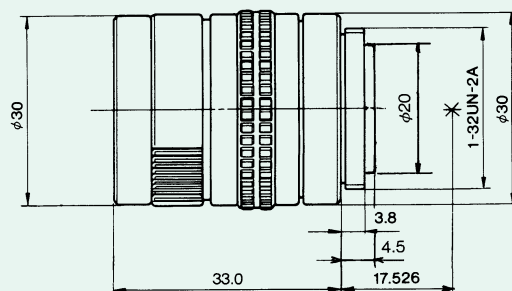
C-MOUNT
Unit:mm



2/3, 1 Format Manual Iris

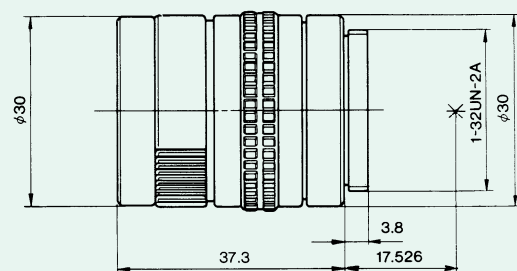
C1614A(C31630)

C-MOUNT
Unit:mm



B2514D(C22525)

C-MOUNT
Unit:mm



■Specifications		B1214D-2	B1218-2	C1614A	B2514D
Focal Length		12.5mm	12.5mm	16mm	25mm
Max. Aperture Ratio		1:1.4	1:1.8	1:1.4	1:1.4
Iris Range		F1.4~Close	F1.8~Close	F1.4~22	F1.4~22
Operation Method	Iris	Manual	Manual	Manual	Manual
	Focus	Manual	Manual	Manual	Manual
	Zoom				
1/4 Format Angle of View	Horizontal	16.21	16.48	12.70	8.23
	Vertical	12.19	12.38	9.54	6.17
1/3 Format Angle of View	Horizontal	21.53	21.90	16.91	10.97
	Vertical	16.21	16.48	12.70	8.23
1/2 Format Angle of View	Horizontal	28.51	29.01	22.48	14.62
	Vertical	21.53	21.90	16.91	10.97
Min. Object Distance		0.3m	0.3m	0.3m	0.3m
Back Focal Length		14.4mm	10.1mm	13.2mm	14.98mm
Flange Back Length		17.526mm	17.526mm	17.526mm	17.526mm
Filter Screw Size		φ 40.5mm P=0.5mm	φ 40.5mm P=0.5mm	φ 27mm P=0.5mm	φ 27mm P=0.5mm
Temperature Range		-20°C~+50°C	-20°C~+50°C	-20°C~+50°C	-20°C~+50°C
Dimensions		φ 42×50mm	φ 42×40mm	φ 30×33mm	φ 30×37.3mm
Weight		135g	95g	58g	76g
Remarks		Lock Screw Extra	Lock Screw Extra	Lock Screw Extra	Lock Screw Extra



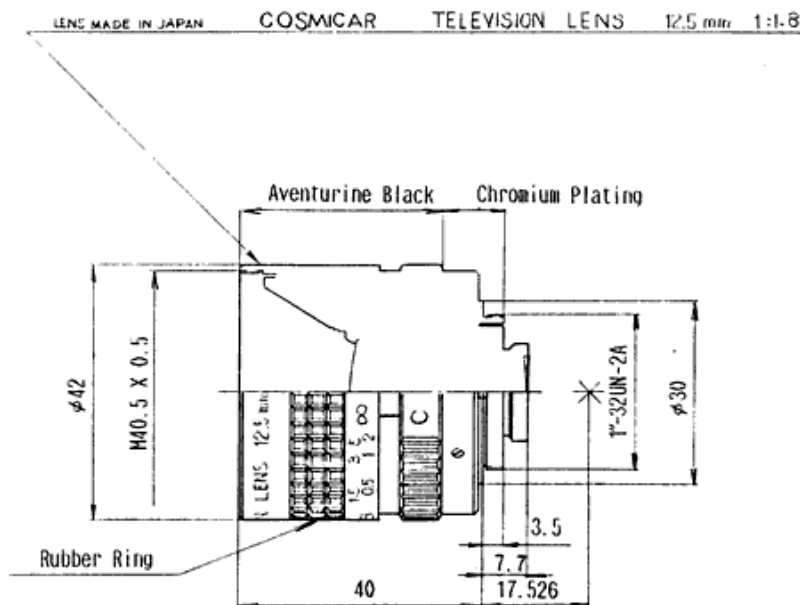
for your precious moments

Pentax Benelux
CCTV Direct:
076 5313014 (NL)
0080020502050 (B)

B1218-2 1" Focales Fixes, Diaphragme manuel

Renseignements techniques:

Focale [mm]:	12,5
Plage d'iris:	1.8~Close
Diaphragme:	Manuel
Focales:	Manuel
Monture:	C
Champ Horizontal 1/4":	16°48'
Champ Horizontal 1/3":	21°90'
Champ Horizontal 1/2":	29°01'
Champ Horizontal 2/3":	39°39'
Champ Horizontal 1":	55°18'
MOD[m]:	0,3
Back Focal Length [mm]	10.1
Filtre:	Ø 40.5 P=0,5mm
Dimensions (ØxL) [mm]:	42x40
Poids [gr]:	95
Code Produit:	C21212



PENTAX Precision Co., Ltd.

CERTIFIED ISO 9001 & ISO 14001